

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA**

**SISTEMÁTICA PARA O PROJETO
DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE MOLDES PARA
INJEÇÃO DE POLÍMEROS**

Dissertação submetida à

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

SÉRGIO LUIS SILVA

Florianópolis, junho de 2009

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA

**SISTEMÁTICA PARA O PROJETO DO
SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE MOLDES
PARA INJEÇÃO DE POLÍMEROS**

SÉRGIO LUIS SILVA

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de
MESTRE EM ENGENHARIA
ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA
e aprovada em sua forma final.

Prof. Fernando Antônio Forcellini, Dr. Eng.
Orientador

Prof. Régis Kovacs Scalice Dr. Eng.
Co-orientador

Prof. Eduardo Alberto Fancello, D.Sc.
Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA

Prof. Carlos Henrique Ahrens, Dr. Eng.
Presidente

Prof. André Ogliari, Dr. Eng.

Prof. Júlio César Passos, Dr.

**“Se você começar a ver a mudança
como uma ameaça, nunca vai inovar.
Não descarte alguma coisa
só porque não é o que você tinha planejado.
O inesperado é muitas vezes,
a melhor fonte de inovação”.**
Peter Ducker

**Dedico este trabalho a toda minha família
aos meus pais Algemiro (in memoriam) e Rosina,
a minha querida esposa Neuza
e filhas Bruna e Samanta
pelo amor, carinho, incentivo e apoio durante
a realização deste trabalho e
a quem mais chegar...**

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar o meu caloroso agradecimento a todos que, de alguma forma ou de outra, prestaram inestimável incentivo e contribuição ao desenvolvimento deste projeto, especialmente:

A Deus, que me deu a vida, inspiração e a luz durante os momentos mais difíceis para concretizar mais uma etapa em minha vida;

A toda minha família, pois nela busquei força e estímulo para continuar esta árdua jornada;

Aos professores Fernando Antônio Forcellini e Régis Kovacs Scalice pela orientação, pois com suas críticas, sugestões, dicas e companheirismo contribuíram de maneira decisiva no bom termo deste trabalho.

À Universidade Federal de Santa Catarina, pela oportunidade de desenvolver este trabalho;

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica que, com muita competência e dedicação me proveram de conhecimentos;

Um agradecimento especial ao coordenador do curso Prof. Eduardo Alberto Fancello e senhora Maria Goreti Alves, secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, sempre prestativos durante toda essa minha jornada no curso de pós-graduação;

Às empresas e aos profissionais que permitiram a realização das pesquisas, fornecendo informações valiosas para esta dissertação;

A SOCIESC e aos colegas que ali trabalham, em especial ao prof. Wesley Masterson Belo de Abreu, diretor do Instituto Superior TUPY, pela colaboração e apoio oferecidos no decorrer deste trabalho.

Aos amigos Moisés Luiz Parucker e Carlos Mauricio Sacchelli que, além de proporcionarem o primeiro contato com a área de desenvolvimento de produtos, depositando em mim toda a sua confiança. Através de suas críticas, sugestões e companheirismo contribuíram no bom termo deste trabalho;

Aos colegas do núcleo de desenvolvimento integrado de produtos, pelo convívio e aprendizado mútuo, destacando Gunther Josué Costa, Kelly Patrícia Dias, Márcio Luiz Giacomini; Marcos Roberto Carrafa, Roberto Luchini Peres; Ivo R. Montanha Junior.

Aos professores membros da banca examinadora pelo respeito com a leitura, crítica e sugestões ao meu trabalho. Enfim, a todos que em algum instante da minha existência compartilharam comigo de momentos de sabedoria ou ignorância, amor ou ódio, luz ou escuridão, lucidez ou embriaguez, prazer ou dor, alegria ou tristeza, trabalho ou descanso, loucura ou serenidade, o meu sincero muito obrigado, pois, com toda a certeza, este trabalho é fruto de nossa convivência.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	XI
SIMBOLOGIA	XII
RESUMO	XIII
ABSTRACT	XIV
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 GENERALIDADES E CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	3
1.3 OBJETIVOS	5
1.4 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA	6
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	7
CAPÍTULO 2.....	9
ASPECTOS GERAIS REFERENTES À PRODUÇÃO DE COMPONENTES INJETADOS À BASE DE MATERIAIS POLIMÉRICOS	9
2.1 PANORAMA DA PRODUÇÃO DE MOLDES	9
2.2 O PROCESSO DE INJEÇÃO DE TERMOPLÁSTICOS	10
2.3 MOLDES DE INJEÇÃO PARA TERMOPLÁSTICOS.....	14
2.4 SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO	16
2.4.1 Agentes de troca de calor empregados no controle de temperatura do molde	19
2.4.2 Sistemas e arquiteturas dos circuitos de refrigeração	21
2.4.4 Tecnologias CAE, aplicadas no dimensionamento e análise de sistemas de térnico	36
2.4.5 Os defeitos em peças injetadas, relacionados ao sistema de refrigeração	39
2.4 CONSIDERAÇÕES REFERENTES AO CAPÍTULO.....	43
CAPÍTULO 3.....	46
ASPECTOS GERAIS REFERENTES AO PROJETO DE PRODUTOS E AO PROJETO DE MOLDES DE INJEÇÃO	46
3.1 INTRODUÇÃO AO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO (PDP)	46
3.2 DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS EMPREGANDO-SE MATERIAIS POLIMÉRICOS.....	49
3.3 MOLDE DE INJEÇÃO, UM PRODUTO A SER DESENVOLVIDO	56
3.4 PROJETO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO.....	64
3.5 CONSIDERAÇÕES REFERENTES AO CAPÍTULO.....	67
CAPÍTULO 4.....	69
SISTEMÁTICA PARA O PROJETO DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO APLICADOS AOS MOLDES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICO.....	69

4.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	69
4.2 A SISTEMÁTICA PROPOSTA	70
4.2.1 Projeto informacional	77
4.2.2 Projeto conceitual	81
4.2.3 Projeto detalhado.....	84
4.3 CONSIDERAÇÕES REFERENTES AO CAPÍTULO.....	86
CAPÍTULO 5.....	88
AVALIAÇÃO DA SISTEMÁTICA PROPOSTA PARA O PROJETO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO MOLDE PARA INJEÇÃO DE POLÍMEROS	88
5.1 PROCEDIMENTOS ADOTADOS NA AVALIAÇÃO	88
5.1.1 Estrutura da avaliação da sistemática proposta	89
5.1.2 Avaliação da metodologia e ferramenta adotada na avaliação da sistemática proposta.....	91
5.2 AVALIADORES DA SISTEMÁTICA PROPOSTA	92
5.2.1 Perfil dos avaliadores da sistemática proposta.....	94
5.3 CRITÉRIOS ADOTADOS NA ANÁLISE DOS RESULTADOS APURADOS NA AVALIAÇÃO	97
5.4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA SISTEMÁTICA.....	98
5.4.1 Resultados da avaliação segundo análise dos projetistas	98
5.4.2 Resultados da avaliação segundo análise dos especialistas	100
5.4.3 Comparação da análise dos projetistas X especialistas.....	101
5.5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA EMPREGADA NA AVALIAÇÃO DA SISTEMÁTICA PROPOSTA.....	104
5.6 CONSIDERAÇÕES REFERENTES AO CAPÍTULO.....	106
CAPÍTULO 6.....	108
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	108
6.1 CONCLUSÕES	108
6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	109
REFERÊNCIAS	111
APÊNDICES.....	116
APÊNDICE A – LEVANTAMENTO DAS PRÁTICAS ADOTADAS NO PROJETO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DE MOLDES PARA INJEÇÃO DE POLÍMEROS	117
APÊNDICE B – PLANILHA PARA A FASE DO PROJETO INFORMACIONAL “CHECKLIST INFORMACIONAL”	129
APÊNDICE C – PLANILHA PARA A FASE DO PROJETO CONCEITUAL “CHECKLIST CONCEITUAL”	134

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Fatores que influenciam decisivamente a qualidade do produto moldado.....	2
Figura 2.1 – Comércio Exterior Brasileiro de Moldes para a Transformação de Plásticos	9
Figura 2.2 – Rotina de transformação de termoplásticos	10
Figura 2.3 – Unidade de injeção.....	11
Figura 2.4 – Diagrama do ciclo de moldagem	12
Figura 2.5 – Configuração básica do molde de injeção.....	14
Figura 2.6 – Ciclo de injeção e dissipação de calor	17
Figura 2.7 – Mecanismo da distorção geométrica causado por resfriamento desbalancead..	18
Figura 2.8 – Transferência de calor em um molde	19
Figura 2.9 – Exemplo de sistema de controle de temperatura	20
Figura 2.10 – Sistema com furação – Configuração em "U"	22
Figura 2.11 – Sistema com furação – circuito em "Z"	23
Figura 2.12 – Sistema com furação – Circuito "retangular"	23
Figura 2.13 – Sistema com furação – Circuito "alternativo"	24
Figura 2.14 – Sistema com furação realizadas em placas de alta condutibilidade térmica ..	25
Figura 2.15 – Sistema com furação (circuito “usinado direto nos postigos”)	25
Figura 2.16 – Sistema com furação (circuito “inclinado”)	26
Figura 2.17 – Sistema canal usinado – Circuito para cavidade "circular"	26
Figura 2.18 – Sistema com canal usinado – Circuito "placas de refrigeração"	27
Figura 2.19 – Sistema com canal usinado (Circuito com aplicação de tubos de cobre)	27
Figura 2.20 – Sistema canal usinado (Circuito em “espiral”)	28
Figura 2.21 – Sistema canal usinado (Circuito em “helicoidal”)	28
Figura 2.22 – Sistema Bubbler aplicado no macho e na placa cavidade	29
Figura 2.23 – Sistema Baffles ou lâmina separadora	30
Figura 2.24 – Configuração do sistema Bubbler e Baffles, aplicado em peças de grandes proporções	30
Figura 2.25 – Barras refletoras ou pinos térmicos.....	31
Figura 2.26 – Sistemas com tubos transferidores de calor	32
Figura 2.27 – Funcionamento do sistemas com tubos transferidores de calor	32
Figura 2.28 – Princípio do resfriamento a gás.....	33
Figura 2.29 – Comparação entre a eficiência dos tipos de canais	33
Figura 2.30 – Molde híbrido.....	34
Figura 2.31 – Canal de refrigeração desenvolvido próximo ao contorno do macho	35
Figura 2.32 – Variável de processo	37
Figura 2.33 – Análise de refrigeração empregando o software <i>Moldflow</i>	38

Figura 3.1 – Modelo de consenso proposto por Ogliari.....	47
Figura 3.2 – Modelo de referência proposto por Romano	48
Figura 3.3 – Modelo de referência proposto por Rozenfeld et al.....	49
Figura 3.4 – Ciclo de vida para produtos plásticos injetados	51
Figura 3.5 – Processo de projeto de produtos injetado em polímeros	52
Figura 3.6 – Fases e etapas do processo de desenvolvimento de componentes injetado em polímeros	53
Figura 3.7 – Processo de desenvolvimento de produtos injetado em polímeros	54
Figura 3.8 – Abordagem da metodologia integrada no desenvolvimento de produtos plásticos	54
Figura 3.9 – Fluxo das atividades relacionadas com o projeto do mole.....	57
Figura 3.10 – Fluxo de trabalho para desenvolvimento de projeto.....	58
Figura 3.11 – Exemplo de funções e soluções para moldes de injeção.....	60
Figura 3.12 – Atividades do projeto para moldes de injeção de plásticos.....	61
Figura 3.13 – Principais tarefas envolvidas no projeto do molde de injeção.....	62
Figura 3.14 – Diagrama de relacionamento entre as diversas tarefas adotadas no desenvolvimento do projeto de moldes	63
 Figura 4.1 – Resumo das atividades de projeto até a sistemática proposta.	71
Figura 4.2 – Estrutura adotada para sistemática proposta.....	72
Figura 4.3 – Inter-relação e fluxo das informações que compõem a sistemática.....	73
Figura 4.4 – Sistemática proposta (detalhamento parcial)	74
Figura 4.5 – Caracterização das possíveis soluções e sua interação no projeto do sistema de refrigeração.....	76
Figura 4.6 – Sistemática proposta (Projeto Informacional).....	77
Figura 4.7 – Sistemática proposta (Projeto Conceitual)	82
Figura 4.8 – Sistemática proposta (Projeto detalhado)	84
 Figura 5.1 – Questionário empregado na avaliação da sistemática proposta (continua).....	89
Figura 5.2 – Questionário empregado na avaliação da metodologia adotada para avaliar a sistemática proposta	91
Figura 5.3 – Comparativo entre os números de participantes, na pesquisa de campo na avaliação da sistemática proposta.....	93
Figura 5.4 – A formação acadêmica X o tempo de experiência (Projetista).....	95
Figura 5.5 – A Formação acadêmica X o Tempo de experiência (Especialista).....	97
Figura 5.6 – Média atribuída de acordo com a análise dos grupos de especialistas em função dos critérios avaliados.....	102

Figura A.1 – Questionário adotado no levantamento das melhores práticas adotadas para se projetar o sistema de refrigeração aplicados aos moldes de injeção.	117
Figura A.2 – Índice de pesquisas remetidas X retornadas.	119
Figura A.3 – Número de projetistas envolvidos com projeto do molde	120
Figura A.4 – Mercado de atuação em projeto de moldes de injeção	120
Figura A.5 – Número de moldes projetados anualmente pelas empresas.....	121
Figura A.6 – Áreas (segmentos) de atuação em projeto de moldes de injeção	121
Figura A.7 – Formação acadêmica dos entrevistados	122
Figura A.8 – Tempo de experiência do entrevistado no projeto de moldes de injeção	122
Figura A.9 – Circuitos e arquitetura mais aplicada no projeto do sistema de refrigeração .	124
Figura A.10 – Critérios adotados no projeto do sistema de refrigeração em função do grau de importância	125
Figura A.11 – Procedimento adotado para determinar do dimensional	126
Figura A.12 – Fatores preponderantes para a simulação de processo aplicando-se um software	127
Figura A.13 – Interferência dos parâmetros de processo na atividade de projeto do sistema de refrigeração.....	127
 Figura B.1 – Planilha de levantamento, armazenamento e verificação de informações – Projeto Informacional (Continua)	 129
 Figura C.1 – Planilha de levantamento, armazenamento e verificação de informações – Projeto Conceitual (Continua).....	 134

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Tipologias apresentadas para as configurações de moldes de injeção	15
Tabela 2.2 – Aplicativos de simulação numérica.....	39
Tabela 2.3 – Exemplos de defeitos, que podem estar vinculados à alta temperatura no molde (Continua)	40
Tabela 2.4 – Exemplos de defeitos, que podem estar vinculados à baixa temperatura no molde (Continua)	42
Tabela 2.5 – Exemplos de defeitos, que podem estar vinculados ao sistema de refrigeração inadequado para o molde (Continua)	43
Tabela 3.1 – Demonstrativo das especificações para o desenvolvimento do molde e o nível de interferência sobre as mesmas.....	59
Tabela 3.2 – Sistemas e funções para moldes de injeção de plástico	61
Tabela 5.1 – Perfil dos avaliadores – Projetistas (Continua).....	94
Tabela 5.2 – Perfil dos avaliadores – Especialistas	96
Tabela 5.3 – Resultados individuais da avaliação da sistemática proposta (Projetista)	98
Tabela 5.4 – Resultados individuais da avaliação da sistemática proposta (Especialistas).....	100
Tabela 5.5 – Resultados de acordo com análise dos projetistas e especialistas.....	101
Tabela 5.6 – Resultados da avaliação da ferramenta empregada na avaliação da sistemática, de acordo com análise dos projetistas.....	104
Tabela 5.7 – Resultados da avaliação da ferramenta empregada na avaliação da sistemática proposta, de acordo com a análise dos especialistas	105
Tabela 5.8 – Comparação dos resultados da avaliação da ferramenta empregada na avaliação da sistemática proposta.....	106
Tabela A.1 – Sequência das atividades para o projeto do molde de injeção.....	123

SIMBOLOGIA

ASTM – American Society for Testing and Materials

CAE – Computer Aided Engineering

CO₂ – Óxido de carbono

Cool – Módulo do software que permite a análise de resfriamento no molde

DFMA - Design for Manufacturing and Assembly

DIN – Deutsches Institut Für Normung

DMLS – Direct Metal Laser Sintering

PDP – Processo de Desenvolvimento de Produtos

Q_{Pi} – Quantidade de calor trazido pelo fundido

Q_{Amb} – Quantidade de calor transferido para o ambiente

Q_{conv} – Quantidade de calor transferido por Convecção

Q_{cond} – Quantidade de calor transferido por Condução

Q_{rad} – Quantidade de calor transferido por Radiação

Q_{TM} – Quantidade de calor transferido pelo meio refrigerante

SACPRO – Sistema de Auxílio à Concepção de Produtos

SLM – Selective Laser Melting

SLS – Selective Laser Sintering

SOCIESC – Sociedade Educacional de Santa Catarina

RESUMO

O referido trabalho discorre sobre a importância da adoção de um processo sistêmico para a atividade de projeto do sistema de refrigeração aplicado nos moldes para a injeção de materiais poliméricos. Para o desenvolvimento da proposta, inicialmente, buscaram-se subsídios na revisão bibliográfica sobre o processo de injeção de materiais poliméricos, em cujo contexto encontra-se inserida a ferramenta (molde), adotada na obtenção do produto e o processo de desenvolvimento de produtos (PDP), principalmente no que se refere à obtenção de produtos fabricados à base de materiais poliméricos, consequentemente o projeto da ferramenta. A partir dos estudos e análises desenvolvidos durante a revisão bibliográfica, foi elaborada a proposta de uma sistemática, que tem como objetivo nortear as ações desenvolvidas durante o projeto do referido sistema de refrigeração. Esta proposta foi avaliada junto a dois grupos distintos de avaliadores, sendo um formado por profissionais envolvidos diretamente com o projeto do molde de injeção (projetistas) e um segundo com profissionais envolvidos com o processo de desenvolvimento de produtos e injeção de materiais poliméricos (especialistas). Os resultados da avaliação indicaram que a sistemática proposta apresenta-se eficiente na atividade de nortear as ações desenvolvidas durante o processo de projeto do sistema de refrigeração, já que atendeu aos critérios pré-estabelecidos para a referida avaliação. Diante dos fatos apresentados, conclui-se que a sistemática proposta auxilia as ferramentarias e escritórios de projetos durante a atividade de projeto do sistema de refrigeração aplicado ao molde para injeção de materiais poliméricos, de forma ordenada, integrando as fontes de informações, com as respectivas fases de projeto. Podendo ainda, ser empregada durante a preparação, formação e atualização de profissionais envolvidos no processo de projetos de moldes de injeção.

Palavras-chave: Projeto de produtos, modelo de referência, sistemática, molde de injeção, sistemas de refrigeração.

ABSTRACT

The present work provides a discussion around the importance on adoption of a systematic into projects of cooling system applied to injection molds of thermoplastic components. For achieving this propose, a major research on thermoplastic injection processes were done. The bibliographical revision concerned mainly to analyze the tool (molds) projects involved into product development process. Through this research, it was proposed a systematic to give support to developers in their activities of project. In this respect, hope that entities such as: tool manufacture and project offices may to develop their activities of thermoplastic injection mold project in a systematically way, and integrating all the set of knowledge involved in.

Such model was evaluated by two kind of professional: (i) directly involved with the injection mold project (tool developers), and (ii) professional involved with the product development process (PDP) and even, thermoplastic injection (expert). The outcomes of those evaluations has shown the proposed systematic as efficiency in relation to the activities which drive the actions involved with the system project, once the ones achieved the higher level of categorization established.

Keywords: *systematic; reference model; injection mold; cooling system; and product project.*

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Neste capítulo encontram-se os aspectos relacionados ao contexto do desenvolvimento da pesquisa, ou seja, uma breve descrição das generalidades e contextualização que envolve a obtenção de componentes a base de materiais poliméricos, na seqüência apresenta-se a formulação do problema, os objetivos, a justificativa e relevância do tema e por fim a estruturação da dissertação.

1.1 Generalidades e contextualização

O uso de materiais poliméricos no processo de moldagem de componentes plásticos tem sido cada vez mais difundido e aplicado nos mais variados setores da economia mundial, como o: automobilístico, eletro-eletrônicos, eletrodomésticos, brinquedos, equipamentos cirúrgicos, embalagens, construção civil, alimentícios entre outros.

A realidade das indústrias que circundam esse mercado baseia-se, cada vez mais, na agressividade dos padrões requeridos, que traduz em maior competitividade diante de um mercado globalizado, onde produtos com qualidade e custos finais reduzidos encontram-se como pré-requisitos.

Diante desse mercado, o prazo de entrega é o grande diferencial na manutenção do sucesso. Para tanto, as indústrias apresentam esforços constantes na busca de técnicas e processos que levem à produção eficiente dos componentes injetados.

Nesse panorama, encontram-se inseridas as indústrias fabricantes de moldes de injeção (denominadas ferramentarias). Considerando-se o molde de injeção como parte integrante do ciclo de desenvolvimento dos componentes à base de polímeros, torna-se evidente que as ferramentarias exercem papel fundamental no processo, pois são elas as responsáveis pelo desenvolvimento do molde que, por sua vez, é determinante na qualidade do produto, nos tempos de produção e, conseqüentemente, no custo final de produção.

Afirma Salvador et al (2007), o molde de injeção constitui um tipo de produto com especificações e restrições definidas, o qual contempla uma grande carga tecnológica, devido às exigências de menores prazos de fornecimento.

Contudo, indústrias envolvidas na fabricação dos moldes, através de seus departamentos de engenharia (setor de projetos), buscam manter-se competitivas atendendo às demandas e exigências desse mercado, cada vez mais disputado e em franca ascensão.

Para Harada (2006), um projeto cuidadoso de um ferramental (molde de injeção) é a principal atividade para se garantir um alto nível de produção com baixa manutenção, para tanto, há necessidade de serem observados todos os fatores técnicos envolvidos durante o processo de desenvolvimento do projeto deste ferramental, a fim de que as possibilidades de falhas possam ser minimizadas.

Os fatores técnicos são, por exemplo:

- No produto moldado: os materiais, a contração, a geometria da peça, sua aplicação, entre outros.
- No ferramental: as soluções de projeto como a linha de abertura do molde, o ponto de injeção, o sistema de extração, o sistema refrigeração, entre outros.
- No processo produtivo: número de ciclos desejados, tempo de ciclo, temperaturas de injeção e extração, entre outros.

Contribui Steinko (2004), um projeto bem dimensionado do produto a ser moldado (peça), o desenvolvimento e projeto do molde a ser construído (molde) e a determinação do processo mais adequado (produção), como pode ser acompanhado na Figura 1.1, são fatores decisivos para a qualidade, tempo de ciclo e custos associados ao componente injetado em polímeros.

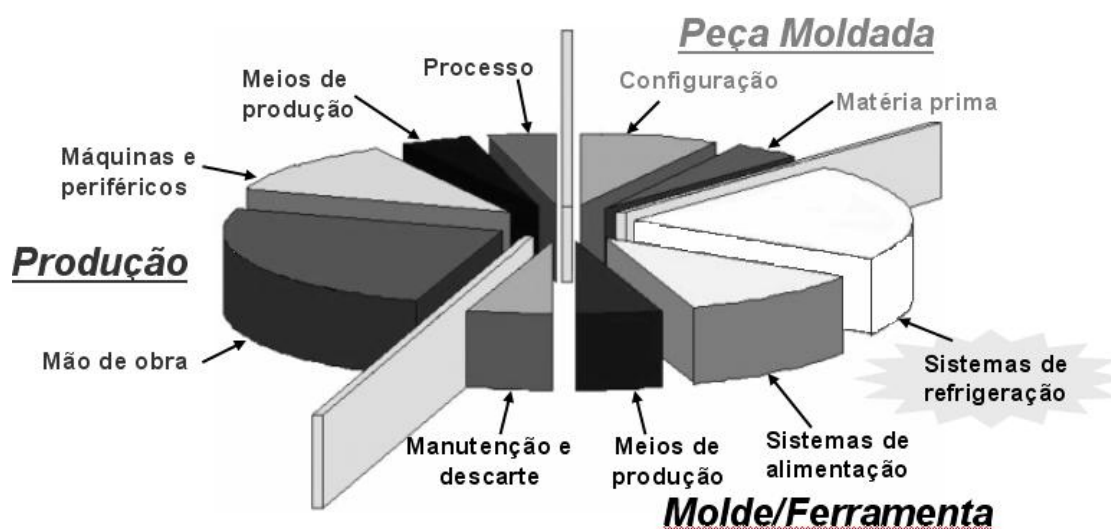


Figura 1.1 – Fatores que influenciam decisivamente a qualidade do produto moldado (STEINKO, 2004)

Analisando-se os elementos apresentados na Figura 1.1, verifica-se que, com relação à **peça moldada**, necessita-se observar fatores como: a configuração da peça moldada e o material envolvido no molde. Quando se trata do **molde**, necessita-se observar fatores tais como: manutenção e desgaste; estabilidade do molde; configuração dos canais de alimentação, sistemas de canais a quente e os sistemas de refrigeração, fatores que influenciam decisivamente na qualidade da peça. Na **produção**, verificam-se aspectos referentes à mão-de-obra, máquinas e periféricos, meios de produção e processo.

Diante do contexto apresentado, verificou-se a oportunidade de contribuir para o processo de projeto do molde de injeção aplicados na obtenção de peças à base de polímeros, seja na questão acadêmica, que prepara novos profissionais para o mercado de trabalho, seja no processo adotado pelas ferramentarias e escritórios de projetos.

Os fatos relacionados anteriormente corroboraram na escolha e na definição do tema de pesquisa, que abordará a elaboração de uma proposta sistematizada a ser empregada

no processo de desenvolvimento e projeto dos sistemas de refrigeração aplicados ao molde de injeção.

1.2 Caracterização do problema

O aumento na internacionalização dos mercados e de uma economia globalizada tem favorecido a crescente procura por produtos e serviços mais eficientes. Produtos que ofereçam soluções inovadoras, com maior qualidade, menor custo em tempo adequado de execução, procurando ao máximo atender, e até mesmo superar, as expectativas desse mercado cada vez mais exigente e competitivo, constituído por consumidores cada vez mais conscientes de suas necessidades.

Diante desse contexto, inserem-se as empresas brasileiras, que participam desse grupo seleto de empresas que atuam no mercado de desenvolvimento e projetos de moldes de injeção para polímeros que, ao longo dos anos, vêm perdendo sua competitividade para o mercado externo, para países como: Estados Unidos, França, Itália, Portugal, Espanha, Coréia, Taiwan e Singapura. Tais perdas podem estar associadas à baixa capacidade das empresas brasileiras de acompanharem os desenvolvimentos ocorridos junto ao setor internacional, além da incapacidade de desenvolver alguns tipos de projetos, e o prolongado tempo na execução do molde, conseqüentemente, a demora e alguns casos ou mesmo o atraso na entrega.

São vários os pesquisadores que, através de suas pesquisas com relação ao projeto de produtos à base de polímeros e da ferramenta de produção, molde de injeção, buscam reverter o quadro apresentado, (abordados no capítulo 3 deste estudo). Aqui são referenciados alguns desses estudiosos, Salvador (2007), Sachelli (2007), Tonolli (2003), Ferreira (2002), Daré (2001), Ogliari (1999). Percebe-se, nos estudos apresentados pelos autores citados, que há uma abordagem de forma abrangente, no que se refere ao projeto do molde em si, os sistemas que o compõem, como o de alimentação, extração e principalmente o de refrigeração são abordados de uma forma superficial.

Levando-se em consideração Menges (1993), Rees (1995) e Harada (2006), verifica-se que os sistemas (alimentação, extração e refrigeração) encontram-se relacionados a funções distintas no molde. Diante do fato, pode-se afirmar que cada sistema apresentado provém de um projeto individual, assim compondo o projeto do molde. Importante ressaltar que os desenvolvimentos dos projetos dos sistemas não devem ocorrer separadamente, pois existe uma forte interação entre os mesmos.

Esses sistemas necessitam ser desenvolvidos de forma a apresentarem resultados, no mínimo, satisfatórios durante sua atuação no processo produtivo. Quanto ao desenvolvimento e projeto desses sistemas, verifica-se que sua abordagem é realizada de forma abrangente, podendo assim, caracterizar um dos fatores que corroboram com a ineficiência produtiva do molde de injeção.

Como exemplo, citam-se os sistemas de refrigeração, tema desta pesquisa, cuja importância pode ser verificada durante o *tray-out* ou mesmo durante o processo de produção do componente injetado. Caso o projeto do sistema não seja adequado, com certeza tal fato contribuirá para: a ocorrência de problemas quanto à qualidade do componente injetado, o aumento no tempo do ciclo de injeção e, conseqüentemente, nos custos de produção, situação indesejável no processo produtivo. Esse panorama leva, em muitas situações, à necessidade de se retrabalhar o molde, desde o projeto até sua concepção.

Menges (1993), Rees (1995), Brito et al (2002) e Harada (2006) reforçam o contexto, quando afirmam que o desempenho térmico do molde de injeção para termoplásticos, determinado através do sistema de refrigeração, tem influência direta nas propriedades e nos defeitos aparentes no produto e na produtividade dessas ferramentas.

De acordo com Steinko (2004), no mínimo 60% dos defeitos aparentes (distorção de formato, variações dimensionais, formação de rebarbas e defeitos superficiais), a princípio, têm sua causa na configuração térmica heterogênea do molde, ou seja, podem estar relacionados com o desenvolvimento e projeto incorreto ou ainda com a escolha do sistema de refrigeração inadequado.

Segundo Stitz Et al (2002), por meio de suas análises técnicas realizadas, verifica-se que os projetos dos sistemas de refrigeração aplicados ao molde de injeção, normalmente costumam estar situados onde há espaço disponível para eles e não onde realmente são necessários.

Outro dado a ser considerado, é o fato dos sistemas de refrigeração serem, na maioria das situações, projetados de forma intuitiva, tentativa e erro, por similaridade de moldes existentes ou ainda baseados na própria experiência do projetista. Fato levantado durante a pesquisa realizada junto aos profissionais da área, mostrado em detalhes no apêndice A, levantamento das práticas adotadas no projeto do sistema de refrigeração de moldes para injeção de polímeros.

Quanto à expressão “experiência profissional”, há necessidade de se tomar cuidado, considerando-se que a palavra “experiência” deriva-se do conceito de desenvolvimento empírico, (Galileu e Bacon séc. XVII), considerada como uma doutrina e afirma que a única fonte do conhecimento é a experiência, ou seja, todo conhecimento somente é obtido por experimentação, experimentar = Montar, Construir, Testar, Medir, etc.

De acordo com Baxter (1998), um trabalho intuitivo conhecido por heurístico, deve ser cuidadosamente manejado, visando ao seu uso de maneira eficiente, pois sua aplicação, durante o início do desenvolvimento do projeto, quando ainda não se possuem dados suficientes para uma análise crítica da situação, pode direcionar inadequadamente os esforços do projetista e de sua equipe, podendo frustrar os resultados e desperdiçar recursos materiais e humanos.

Perante esse cenário, constata-se que as dificuldades durante o processo de projeto do sistema de refrigeração do molde de injeção, são oriundas, em parte, da falta de organização, armazenamento e otimização das informações inerentes à atividade proposta. Outro fato a ser considerado é que poucos especialistas detêm esse conhecimento, podendo criar uma dependência acentuada da empresa em relação ao mesmo.

Em função do conteúdo exposto, levantaram-se duas perguntas a serem respondidas ao longo do desenvolvimento da pesquisa:

1 - Uma visão sistêmica do processo facilita a identificação das interfaces entre as informações com as fases de projeto, a serem desenvolvidas durante o processo de projeto do sistema de refrigeração?

2- A aplicação de uma sistemática propicia como resultado do processo de projeto, a obtenção de sistema de refrigeração capaz de alcançar ou superar metas pré-estabelecidas pelo cliente, tais como: o aumento na produtividade, a redução ou eliminação de defeitos no componente injetado?

Com base no tema de pesquisa e nas perguntas formalizadas, na sequência, apresentam-se os objetivos propostos.

1.3 Objetivos

O presente trabalho tem como principal objetivo desenvolver e propor uma sistemática, como fonte norteadora para ações das equipes de projeto envolvidas durante a atividade de projeto do sistema de refrigeração, aplicados em moldes para injeção para polímeros.

Em vista do objetivo principal, delinearam-se os seguintes objetivos específicos:

- Levantar e estudar os conceitos e generalidades referentes ao processo de desenvolvimento de produtos, os princípios envolvidos no processo de obtenção de componentes injetados à base de polímeros e as atividades pertinentes ao projeto do ferramental (moldes injeção);

- Definir e esclarecer conceitos considerados fundamentais para a abordagem de gerenciamento através de uma sistemática empregada no apoio às atividades de projeto do sistema de refrigeração, aplicados aos moldes de injeção;

- Avaliar a proposta, a partir do conhecimento de projetistas e especialistas envolvidos na área de projeto de molde de injeção e/ou modelos de referência aplicados ao projeto de produto.

O desenvolvimento de tais objetivos deverá possibilitar, ao final do referido trabalho, apresentar a proposta de uma sistemática caracterizada pela: flexibilidade diante das diversas abordagens de projeto; facilidade na utilização e adequação da sistemática à realidade de cada empresa envolvida. Assim, buscando-se: ganho de tempo nas fases iniciais de projeto; melhoria na qualidade do produto e na produtividade do processo e ainda, satisfação aos anseios da equipe de trabalho (fator motivacional) e do cliente.

1.4 Justificativa e relevância do tema

O mercado de produtos e serviços é controlado pela lei da oferta e da procura e as indústrias baseiam-se cada vez mais na agressividade dos padrões requeridos, o que se traduz em maior competitividade.

De acordo com Amaral (2001), para que as empresas se mantenham ativas, necessitam aperfeiçoar seus produtos ou serviços, proporcionando e oferecendo soluções inovadoras, de qualidade e menor custo, com tempo cada vez mais reduzido.

No caso da indústria de transformação de polímeros, que faz uso de moldes de injeção, (ferramenta para a obtenção de peças em polímeros), necessita que o desempenho térmico do ferramental (sistema de refrigeração) seja eficiente, para tanto, necessitam ser desenvolvidos e projetados com adequação, pois influenciam diretamente:

- No aumento de produtividade das ferramentas;
- Na redução do tempo de ciclo de injeção;
- Na redução ou eliminação da ocorrência de defeitos aparentes;
- Na manutenção das propriedades e características do produto injetado e
- Na redução do retrabalho, seja o reprojeção ou confecção do próprio molde ou parte dele.

No ciclo de injeção de produtos à base de polímeros, a fase da refrigeração, na grande maioria das situações envolvidas, verifica-se como sendo a mais longa. De acordo com Rees (1995), a fase de resfriamento de um produto injetado constitui-se aproximadamente 80% do tempo total de um ciclo, sendo assim, pode-se afirmar que, qualquer melhora nesse tempo, refletirá diretamente na produtividade do processo.

Para Menges (1993), o correto dimensionamento e posicionamento do sistema de refrigeração devem ser entendidos como fator de potencial diferenciação entre as indústrias do setor, considerando-se o tempo de entrega do produto.

Ainda sob o ponto de vista de Menges (1993), pode-se afirmar que a velocidade como ocorre a troca de calor entre o plástico injetado e o molde de injeção é fator decisivo no desempenho econômico do processo como um todo.

Diante desse contexto, os pesquisadores Barros (2004), Lafratta (2004) e Moritz et al (2003), demonstram essa preocupação em suas pesquisas, quando abordam formas de determinação do tempo e variação de temperatura, considerando a resistência térmica associada à interfase molde/polímero, determinação e dimensionamento do perfil do sistema de refrigeração, aplicação de modelos matemáticos que permitam o dimensionamento do sistema de refrigeração.

Segundo Rees (1995), durante o desenvolvimento e projeto de um sistema de refrigeração, os projetistas baseiam-se principalmente na experiência pessoal passada, mas não necessariamente em contato com as práticas mais recentes de fabricação de molde.

A prática apontada, quando baseada unicamente na experiência do projetista, é justificada em função: do grau de dificuldade e do tempo dispensado durante a execução

dos cálculos; do alto custo do software aplicado à simulação de injeção ou mesmo por desconhecimento de caso, ocasionando relutância no uso das mesmas.

Observa-se, durante este estudo, que os meios e propostas a serem empregados durante a atividade de desenvolvimento e projeto de um molde de injeção quanto ao sistema de refrigeração existe. A dúvida está em relação ao por que e quando aplicá-los, assim sendo, para assegurar a repetibilidade e qualidade do processo produtivo a que o molde se destina, a adoção de uma sistemática torna-se necessária.

Essa sistemática deve permitir a ordenação das informações e das fases que contemplam a atividade proposta, a começar pelo planejamento e projeto do sistema em questão, sendo de extrema importância que o conceito esteja intrínseco em todos os passos que levam à concretização da atividade.

Frente ao exposto, corrobora Brasil (1997), um processo metódico e sistêmico de planejamento e projeto de um sistema é a primeira e mais importante ferramenta da qualidade, pela grande influência exercida na qualidade intrínseca e sobre os custos dos produtos e serviços.

Para Ogliari (1999), um processo sistematizado busca, por meio de determinados elementos, quais sejam: o processo, as informações e os meios de projeto, apoiar os projetistas na execução de suas atividades.

Diante do que se apresentou, é pertinente ressaltar a importância do tema abordado, considerando-se a falta de uma sistemática que apresente informações estruturadas e detalhadas, de forma a fornecer subsídios às decisões de projeto, durante as fases que complementam a atividade de se projetar um sistema de refrigeração.

Para Forcellini (2004), uma sistemática, quando estruturada, contribui com um número muito maior de informações durante à atividade de projeto, reduzindo-se consideravelmente a probabilidade de ocorrerem erros e reprojeto, comparando-se com as atividades, que venham ser desenvolvidas de forma intuitiva, ou mesmo, de forma desorganizada.

1.5 Estrutura do trabalho

A dissertação encontra-se organizada em seis capítulos que, progressivamente, conduzem o leitor desde a natureza do tema até as conclusões obtidas sobre a solução desenvolvida. No primeiro capítulo, o introdutório, são destacados: as generalidades e contextualização do tema de pesquisa, a caracterização da problemática que circunda o tema, os objetivos e as justificativas, que dão sustentação à importância do mesmo. O segundo capítulo tem por finalidade analisar o estado da arte referente aos aspectos gerais abordados na produção de componentes injetados à base de materiais poliméricos. Abrange os temas relacionados ao panorama da produção de moldes, ao processo de injeção de materiais poliméricos, ao molde de injeção e o sistema de refrigeração, descrevendo-se os conceitos, aplicações e seus mecanismos, no qual se destacam os sistemas de refrigeração adotados, referenciando a estrutura, as características e tecnologias envolvidas.

No terceiro capítulo, apresentam-se os principais conceitos e dimensões que constituem o processo de desenvolvimento de produto (PDP); as metodologias sugeridas ao processo de desenvolvimento de produtos à base de polímeros e ao projeto de moldes de injeção e os conteúdos abordados no projeto do sistema de refrigeração empregados nos moldes para injeção de polímeros, foco de estudos desta dissertação, temas fundamentais para o desenvolvimento da proposta de uma sistemática.

No quarto capítulo, a proposição da sistemática é apresentada e especificada em seus detalhes. A descrição é feita no nível de informações fases e tarefas envolvidas na atividade proposta, bem como os elementos facilitadores do processo e as relações entre cada um dos elementos envolvidos.

No quinto capítulo apresenta-se a verificação das proposições do trabalho em uma discussão sobre os resultados obtidos. A validação foi desenvolvida através da elaboração de um questionário, aplicado a dois grupos de avaliadores, um formado por profissionais da área de projetos de moldes e um segundo por especialistas com conhecimentos no assunto.

Ao final, no sexto e último capítulo, são apresentadas as considerações finais do trabalho, na forma de uma análise crítica à sistemática proposta. Além das conclusões finais do trabalho, são relacionadas algumas recomendações e sugestões para trabalhos futuros.

Cabe ainda ressaltar a importância dos apêndices que contemplam a dissertação, considerando que dão suporte ao desenvolvimento da atividade proposta pela sistemática, propiciando informações que contribuem na aplicação da sistemática durante atividade de se realizar o projeto do sistema de refrigeração.

CAPÍTULO 2

ASPECTOS GERAIS REFERENTES À PRODUÇÃO DE COMPONENTES INJETADOS À BASE DE MATERIAIS POLIMÉRICOS

Este capítulo aborda a fundamentação teórica, apresentando uma revisão bibliográfica sobre os aspectos gerais referentes ao panorama da produção de moldes, o processo de injeção, classificação dos moldes de injeção, sistemas de refrigeração, o projeto do molde e do próprio sistema de refrigeração.

2.1 Panorama da produção de moldes

Mundialmente, há aumento considerável no número de indústrias responsáveis pela fabricação de componentes à base de polímeros, para tanto é necessário o desenvolvimento e construção de ferramentas, (moldes) que possibilitem a transformação da matéria-prima em uma peça acabada.

De acordo com Ferreira (2002), a produção mundial de moldes rende um faturamento bruto na ordem de 20 bilhões de dólares e os Estados Unidos encontram-se entre os maiores fornecedores, com um faturamento de mais de US\$ 5 bilhões, cujas exportações obtiveram um crescimento de 192% entre 1992 e 2000. Na sequência, estão países como o Japão e a Alemanha, contudo já enfrentam concorrência no mercado por países como França, Itália, Espanha Portugal, Coreia, Taiwan e Singapura.

Segundo Ferro (2001), as indústrias brasileiras de moldes, entre os anos de 1996 e 2001, tiveram um crescimento nas exportações na ordem de 51%, mas no mesmo período as importações praticamente dobraram, chegando a índices de 91%, provocando uma variação na balança comercial e somando um déficit aproximado US\$ 120 milhões de dólares (Figura 2.1).

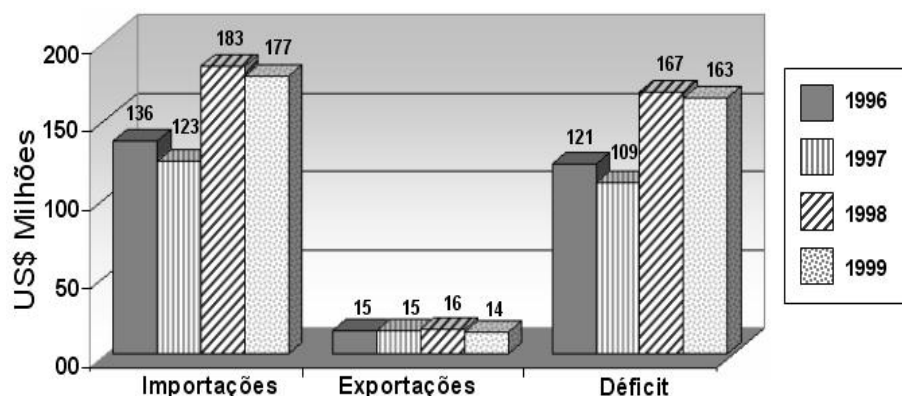


Figura 2.1 – Comércio Exterior Brasileiro de Moldes para a Transformação de Plásticos (MAXIQUIM, 2000)

Podem-se atribuir tais resultados à perda da competitividade para o mercado externo, associadas à baixa capacidade da indústria nacional de acompanhar os desenvolvimentos ocorridos no setor internacional, além da incapacidade de desenvolver alguns tipos de

projetos e o tempo prolongado na execução da ferramenta com consequente demora na entrega.

Segundo o relatório da pesquisa realizada por MaxiQuim Assessoria de Mercado, (2000), o Brasil possui cerca de 1200 empresas no setor de fabricação de moldes e ferramentas que se concentram nos polos industriais das regiões Sudeste e Sul, nos estados de São Paulo (São Paulo), Rio Grande do Sul (Caxias do Sul) e Santa Catarina (Joinville) e, em 2001, geraram um volume de negócios em torno de U\$ 531 milhões de dólares. Somente na cidade de Joinville, o faturamento oscila entre R\$ 30 mil a R\$ 1 milhão de reais por mês.

Desse modo, pode-se observar e afirmar, em linhas gerais, que o setor de moldes de injeção movimenta valores consideráveis na economia mundial e na economia brasileira.

2.2 O Processo de injeção de termoplásticos

O processo de injeção de termoplásticos obedece a uma rotina cíclica, (Figura 2.2), envolvendo sequencialmente as seguintes etapas: aquecimento do material (fornecimento de calor) até adquirir viscosidade suficientemente baixa necessária para, na sequência, ser moldado na cavidade do molde sob pressão e, após o produto moldado, ocorre a etapa de resfriamento (remoção do calor) para que o material injetado recupere sua rigidez. (CUNHA, 2004).

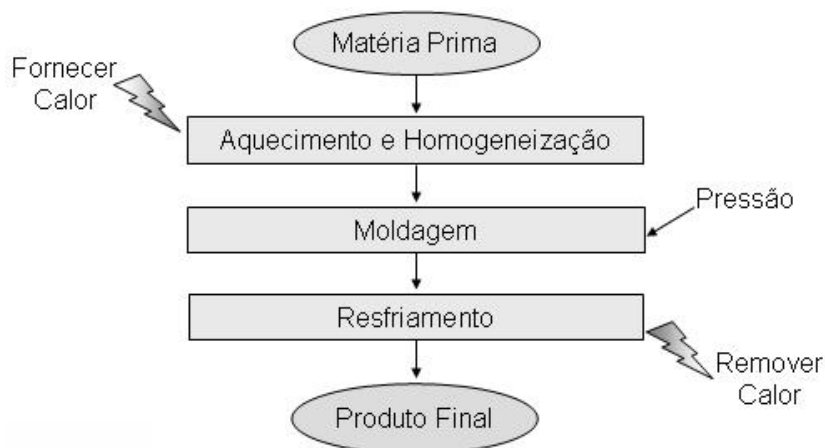


Figura 2.2 – Rotina de transformação de termoplásticos (CUNHA, 2004)

O processo de injeção, ainda que extremamente simples em sua definição, apresenta grande complexidade em sua execução, pois se dá com o auxílio de uma ferramenta (molde) disposta em uma máquina, na qual o material plástico é depositado depois de aquecido e transformado em uma massa pastosa devido à fusão (Figura 2.3).

O processo em si tem início com a preparação da matéria-prima a ser injetada. O material é depositado em uma coifa de alimentação, que libera a quantidade de material de acordo com a dosagem necessária a completar as cavidades pertinentes ao molde, que reproduzem em negativo a forma do produto desejado.

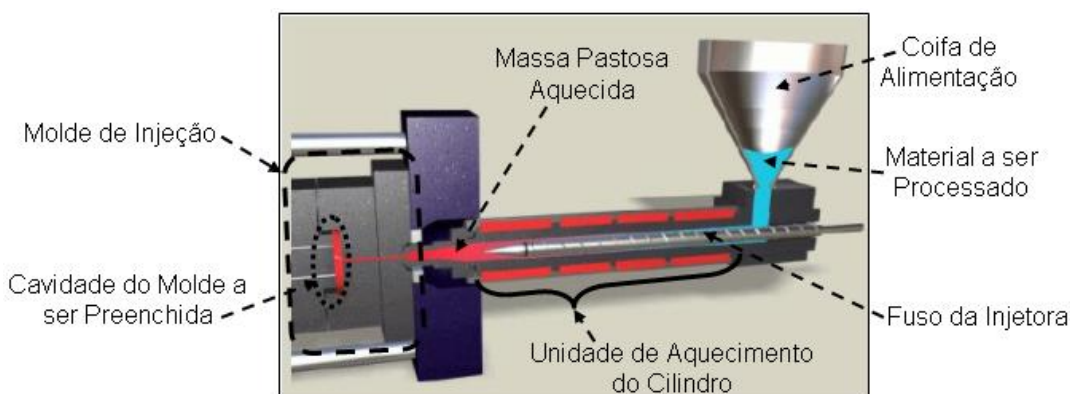


Figura 2.3 – Unidade de injeção

A quantidade de material liberada entra em contato com o fuso e o cilindro de aquecimento, onde é aquecido, homogeneizado e compactado, permitindo, na sequência, ser injetada sob pressão uma quantidade de massa pastosa dentro das cavidades do molde até que se encontrem preenchidas. Após o preenchimento, o material, já com o formato do produto, é resfriado a uma temperatura adequada, permitindo a extração das cavidades, sem que haja danos ao produto.

Segundo Michaeli (1992), Cruz (2002), Provenza (1993), Harada (2004) e Manrich (2005), a moldagem por injeção é um dos principais processos industriais no que tange a processos de fabricação de peças à base de polímeros. Como vantagens competitivas do processo, ocorrem:

- Elevados níveis de produção, com excelente reprodutividade dimensional;
- Possibilidade do uso imediato do produto após a sua produção;
- Grande flexibilidade no que tange à configuração das peças quanto à forma, às dimensões e precisão dimensional do produto moldado.

O processo possibilita a produção de micropeças (inferiores a 1mg) até peças de tamanhos avantajados (superiores a 100 kg). É necessário, portanto, esclarecer que a complexidade, no que se refere à forma, tamanho e dimensão do produto injetado aumenta proporcionalmente os custos de projeto e fabricação do molde.

Foi a partir da década de 50, com o desenvolvimento de uma nova geração de equipamentos, que a moldagem por injeção firmou-se rapidamente como um dos mais importantes processos de transformação de plásticos em massa, devido à grande versatilidade geométrica e dimensional, facilmente automatizado, com a possibilidade de se obter excelentes acabamentos superficiais e de garantir tolerâncias dimensionais apertadas.

De acordo com Manrich (2005), na obtenção de peças de boa qualidade, com ciclos produtivos eficientes, são envolvidos, além da máquina injetora, o projeto de molde eficiente quanto ao sistema que o compõe (alimentação, extração e refrigeração) e o uso de equipamentos auxiliares, tais como: controladores de temperatura do molde, sistemas de secagem e transporte da matéria-prima e sistemas para manuseio e transporte dos produtos moldados.

Devido ao elevado capital investido nas máquinas, moldes e equipamentos auxiliares, é determinante o conhecimento prévio e aprofundado dos aspectos relacionados às operações do processo, uma vez que estão diretamente ligados à viabilidade do processo e qualidade dos componentes injetados.

As operações que envolvem o processo de moldagem por injeção, também são conhecidas pela expressão ciclo de moldagem, determinada pela soma de todos os tempos que compreende todas as etapas do ciclo: desde o fechamento do molde, a injeção, o recalque, a plastificação, o resfriamento, a abertura do molde e a extração do produto, finalizando com o molde aberto, assim possibilitando, na sequência, o início de um novo ciclo. (Blass, 1988; Rees, 1995; Malloy, 2000 e Harada, 2004).

Na Figura 2.4 encontra-se representado um diagrama com a sequência e a duração relativa de cada fase que compreende o ciclo.

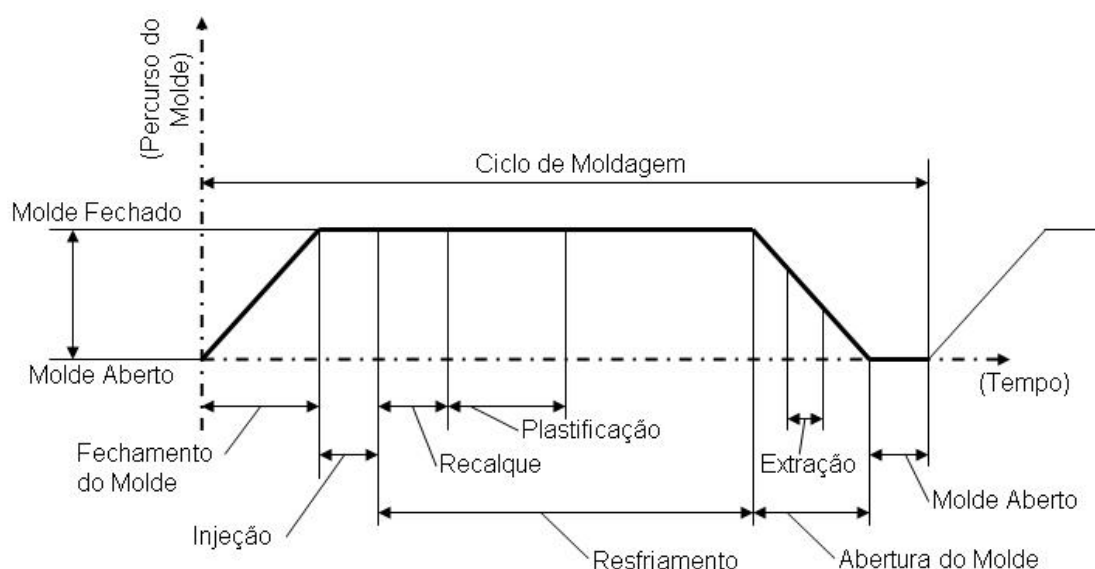


Figura 2.4 – Diagrama do ciclo de moldagem (Adaptado de REES, 1995)

Ainda de acordo com Blass (1988); Rees (1995); Malloy (2000) e Harada (2004), os tempos relativos a cada uma das etapas, podem oscilar em função de variáveis, tais como: matéria-prima, pressão de injeção, espessura do produto injetado entre outros.

Na sequência, apresenta-se um breve comentário referente ao cenário de cada uma das fases, representada no diagrama da Figura 2.4:

1º Fase - Fechamento do molde: a máquina injetora é fechada e todos os componentes móveis pertinentes ao molde, necessários para a moldagem e extração do produto, são posicionados.

2º Fase – Injeção: o fuso roscado é empurrado por um pistão hidráulico e comprime como um êmbolo, a massa plastificada é impelida para dentro das cavidades do molde através da bucha e canais de injeção.

3º Fase – Recalque: a pressão de recalque é normalmente empregada permitindo, dessa forma, a entrada de mais material no interior do molde, com o objetivo de compensar

a contração resultante do resfriamento e solidificação do produto, evitando-se o defeito de chupagem. A pressão e tempo de recalque dependem da forma, medidas da peça, do sistema de injeção e do material termoplástico.

4º Fase – Plastificação: nessa etapa o fuso roscado retorna, o que possibilita uma nova dosagem de material que será injetado nas cavidades do molde no ciclo subsequente. Durante essa etapa também ocorre a homogeneização da matéria-prima, pelo movimento de rotação do fuso.

5º Fase – Resfriamento: o resfriamento do material injetado na cavidade do molde para formar o produto tem início na etapa de recalque e se mantém até o início da etapa de extração. Essa etapa permite que o produto moldado seja extraído da cavidade do molde, sem que haja problemas de marcas e distorções.

6º Fase – Abertura do molde: em paralelo a essa etapa ocorre a extração do produto moldado. Durante essa etapa, todas as peças móveis que compõem o molde de injeção são acionadas, possibilitando o acionamento dos extratores, cuja função é remover a peça ou produto moldado da cavidade do molde.

7º Fase – Molde Aberto: é o período de tempo que decorre entre o fim do processo de extração e o início de um novo ciclo de injeção. Esse tempo pode ser nulo, quando o molde estiver trabalhando em regime automático. No entanto, pode ser prolongado, em casos onde haja necessidade da remoção manual do produto injetado ou quando há necessidade da colocação de insertos nas cavidades do molde.

Quanto ao processo de moldagem por injeção, pode ser considerado satisfatório, quando houver a observância da influência das seguintes variáveis:

- **Pressão de injeção** – varia de maneira ampla, conforme o tipo do molde, da matéria-prima e da máquina de injeção. Em geral, incentiva-se o uso do mínimo de pressão possível, para que se obtenham artigos moldados, livres de defeitos internos e superficiais. O excesso de pressão provoca normalmente escape de material pelas juntas e peças com peso acima do desejado.

- **Temperatura do cilindro** – responsável pela plastificação correta ou não de material, a temperatura do material depende não só da temperatura do cilindro, como também da velocidade com que passa em seu interior. Em suma, o aquecimento uniforme do material depende de um correto controle da temperatura do cilindro de aquecimento e do controle rigoroso do tempo e duração do ciclo.

- **Tempo do ciclo** – necessita ser o mínimo possível do ponto de vista econômico, porém deve estar dentro dos limites estabelecidos para a boa qualidade do objeto moldado. A velocidade de injeção é gerida pela viscosidade do material a ser injetado, pela pressão de injeção e pelo mínimo de restrições oferecidas ao fluxo de material ao longo do percurso.

- **Temperatura do molde** – necessita ser constante, abaixo do ponto de amolecimento do material injetado. Normalmente, é obtida através do emprego de sistemas de refrigeração

adequados à situação imposta. Esse conteúdo será melhor discutido no item 2.4 deste capítulo.

Dentre outras variáveis que influenciam no desempenho produtivo do molde, pode-se citar: o número de cavidades do molde; o leiaute das cavidades; o peso do material em cada ciclo; a força de fechamento do molde; a abertura do molde; os sistemas de alimentação, refrigeração e de extração e a contração da matéria-prima.

2.3 Moldes de injeção para termoplásticos

Segundo Menges (1993), Rees (1995) Pötsch (1995), Costa et al (1999), Beamount (2002), Harada (2004) e Manrich (2005), um molde de injeção, pode ser definido como ferramenta construída individualmente que, adaptadas a uma máquina de injeção, possibilitam produzir componentes de forma variada, com pouca ou grande complexidade, através de um ciclo produtivo, possuindo boa repetibilidade no que se refere à forma, acabamento e tolerâncias dimensionais do produto moldado.

O molde de injeção pode apresentar diferentes configurações e grau de complexidade em função da peça, da produtividade solicitada, do custo do molde e do grau de dificuldade de injetar-se um produto.

De modo geral, o molde de injeção é constituído de um conjunto fixo e outro móvel (Figura 2.5), os quais são constituídos de uma ou mais cavidades que dão forma ao produto.

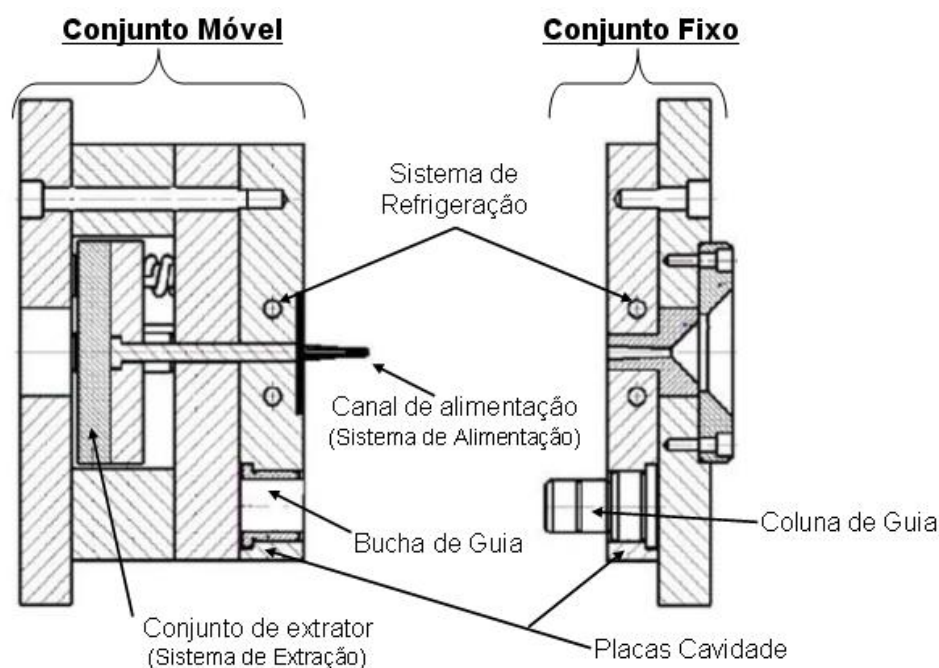


Figura 2.5 – Configuração básica do molde de injeção

Para a eficiência do processo de produção de componentes injetados, os conjuntos são equipados com: sistema de alimentação (orientam o material pastoso para dentro das cavidades por meio de pressão); sistema de refrigeração (dissipa o calor para que ocorra o resfriamento do produto possibilitando sua extração); sistema de extração (empurra o

produto moldado para fora do molde) e os elementos de alinhamento (colunas e buchas, utilizadas para o alinhamento do conjunto fixo com o móvel).

É necessário deixar claro que cada elemento (placas, parafusos, buchas, pinos-guia entre outros) ou mesmo os sistemas (de alimentação, refrigeração, extração) constituintes do molde são determinados, seja através de cálculos, simulações em software adequado ou mesmo pela experiência prática do projetista, a fim de garantir a funcionalidade do molde durante o processo de injeção, em consequência da qualidade na transformação do material polimérico em um produto desejado.

De acordo com Blass (1988), Gastrow (1993), Menges (1993), Pöstch (1995), Harada (2004) e Manrich (2005), os moldes de injeção podem apresentar configurações pré-estabelecidas de acordo com: a norma técnica DIN E 16750; os princípios das unidades funcionais; os sistemas empregados. A Tabela 2.1 apresenta a tipologia adotada, segundo os autores citados.

Tabela 2.1 – Tipologias apresentadas para as configurações de moldes de injeção

Autor	Blass (1988)	Gastrow (1993)	Menges (1993)	Pöstch (1995)	Harada (2004)	Manrich (2005)
Base de Classificação		DIN E - 16750	Sistema de extração	Princípios funcionais	Sistemas empregados	Sistemas de alimentação
Tipologias Empregadas	molde de duas placas	molde básico (molde de duas placas)	molde de duas placas	matéria- prima processada	sistema de alimentação	moldes convencionais ou de canais frios
	molde de três placas	molde de três placas	molde de três placas	projeto básico do molde	sistema de extração	moldes com canais isolados (convencionais ou com aquecimento)
	molde com partes móveis	molde sanduíche	dispositivo para desrosquea- mento	sistema de alimentaçã o		moldes com canal quente (distribuidor frio ou quente)
	molde de canal quente	molde de canal quente	molde com placa extratora	sistema de extração		
	molde com ponto de injeção valvulado	molde com elementos móveis (gavetas)	molde com gaveta	número de cavidades		
				número de linhas de abertura		
				tamanho do molde		

Em seu estudo, Blass (1988) não define qual a base de classificação que foi empregada para nomear a tipologia dos moldes de injeção, mesmo assim, de acordo com o mesmo autor, as tipologias foram divididas em: molde de duas placas, molde de três placas, molde com partes móveis, molde de canal quente e molde com ponto de injeção valvulado.

Para Gastrow (1993), os moldes de injeção classificam-se de acordo com a norma técnica DIN E 16750, que faz referência aos moldes de injeção e compressão para moldagem de componentes. Essa norma classifica os moldes diante os seguintes critérios: molde básico (molde de duas placas), molde de três placas, molde sanduíche, molde de canal quente, molde com elementos móveis (gavetas) e molde com placa extratora.

Menges (1993) apresenta uma classificação baseada no sistema de extração, que resulta nas seguintes categorias: molde com duas placas, com placa extratora, com gaveta, com dispositivo de desrosqueamento e com três placas.

Para Pöstch (1995), os critérios para essa classificação se dão em função dos princípios das unidades funcionais, ou seja, em função da matéria-prima processada, do projeto básico do molde, do sistema de extração, do sistema de alimentação, do número de cavidades, do número de linhas de abertura e tamanho do molde.

Harada (2004) classifica os moldes de injeção de acordo com o tipo de sistema de alimentação e de extração, sendo o sistema de alimentação classificado de forma direta ou indireta e o sistema de extração dividido em placa impulsora, ar comprimido ou núcleo rotativo.

Manrich (2005) classifica em três tipos de molde, sendo essa classificação em função do sistema de alimentação: moldes com canais frios, que podem ser de duas placas ou três; moldes com canais isolados, que podem ser divididos em convencionais ou com aquecimento e moldes com canais a quente, sendo divididos com distribuição fria ou quente.

Dentre os temas abordados até o momento, será melhor detalhado o sistema de refrigeração, foco do referido estudo, para nortear o desenvolvimento da sistemática proposta.

2.4 Sistemas de refrigeração

O sistema de refrigeração do molde permite consolidar a fase de refrigeração (dissipação de calor da massa moldada) que se encontra inserida no ciclo de injeção de uma peça ou de um conjunto de peças (Figura 2.6). O processo de refrigeração do molde de injeção tem como finalidade diminuir, de modo rápido e constante, a temperatura da peça moldada até que atinja seu estado sólido. O processo que envolve a fase de refrigeração do molde depende: da temperatura externa da superfície do molde, do ambiente que circunda o molde e do material a ser injetado. Há situações em que se torna necessário o pré-aquecimento do molde, em função do tipo de material a ser injetado, como: injeção de peças transparentes em policarbonato, nylon e poliacetato, por exemplo.

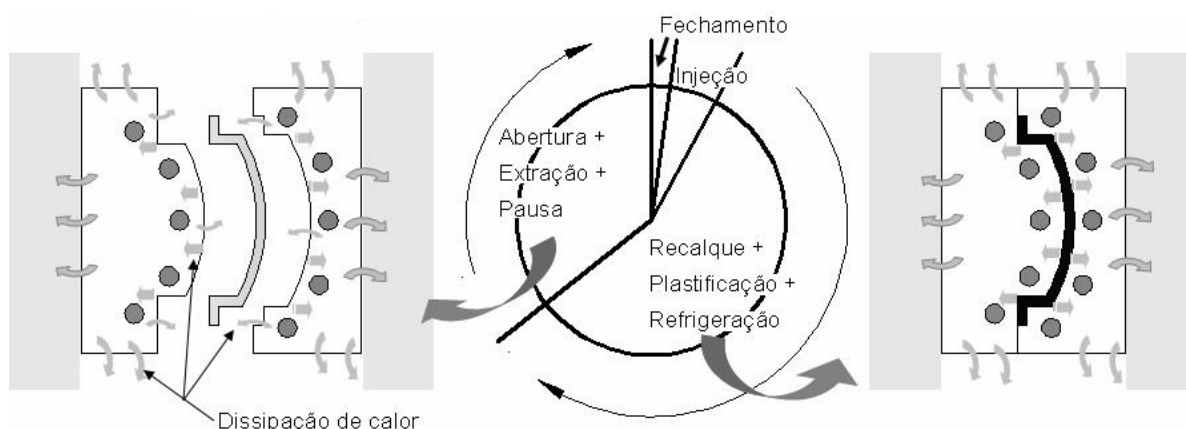


Figura 2.6 – Ciclo de injeção e dissipação de calor

Segundo Malloy (2000), a fase de resfriamento do produto no molde é, na maioria das vezes, a mais demorada dentre todas as etapas que compõem o ciclo de injeção, tornando-se um dos sistemas mais críticos a serem projetados durante o projeto de um molde.

O controle da velocidade com que ocorre o resfriamento do componente é de suma importância, pois permitirá condições adequadas ao fluxo do material no interior do molde, garantindo o resfriamento do componente moldado. Em consequência, obtém-se o aumento na produtividade em função da redução do tempo do ciclo de injeção, a eliminação de defeitos aparentes e a manutenção das propriedades da matéria-prima usada para formação do componente.

Para Menges (1993), Rees (1995), Brito et al (2002) e Harada (2004), a velocidade de refrigeração (troca de calor) do molde é um fator decisivo no desempenho econômico de um molde de injeção, pois define as propriedades da peça e influencia diretamente no tempo do ciclo de injeção.

Ress (1995) faz referência à ocorrência de temperaturas desiguais entre as placas do molde. Essa diferença pode criar deformações nos produtos em função de uma placa quente em relação à placa fria. Essa diferença de temperatura entre as placas fixadas uma à outra, também geram consideráveis forças nas próprias placas, no sistema de alinhamento, nas guias do molde e nos extratores, que geram desalinhamento na estrutura do molde, necessitando assim, um método mais eficiente de alinhamento.

O sistema de refrigeração tem como principal função o controle da temperatura do molde. Portanto a diferença de temperatura entre as superfícies da cavidade do molde deve encontrar-se entre 2° e 5°C. Nesses parâmetros, a refrigeração do molde torna-se eficiente, possibilitando a redução ou eliminação de possíveis tensões residuais termo-induzidas, provenientes do resfriamento desbalanceado. (MENGES, 1993; HARADA, 2004)

Nas Figura 2.7A e 2.7B, respectivamente, podem ser observados com maiores detalhes os efeitos do processo de resfriamento balanceado e um desbalanceado.

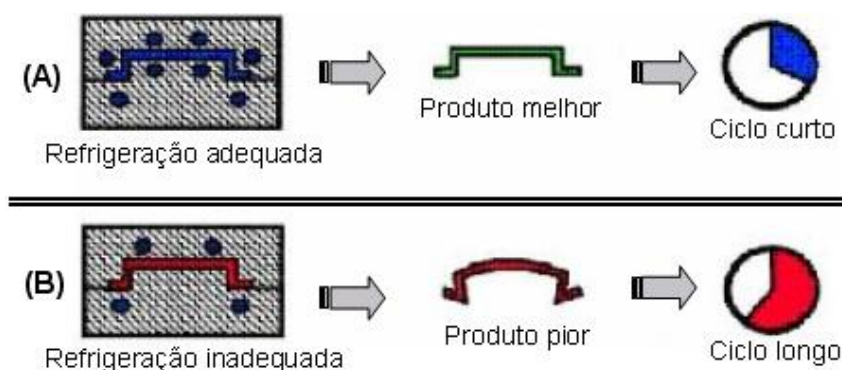


Figura 2.7 – Mecanismo da distorção geométrica causado por resfriamento desbalanceado (C-MOLD DESIGN GUIDE, 2000)

A Figura 2.7A apresenta um exemplo de sistema de refrigeração balanceado e eficiente, que proporciona condições adequadas ao fluxo do material no interior das cavidades e garante o resfriamento heterogêneo da peça até atingir seu estado sólido, permitindo que seja extraída sem que apresentem distorções. Já na Figura 2.7B verifica-se uma peça com distorções aparentes, que se dá em função da ineficiência do projeto do sistema de refrigeração, onde se observa a má distribuição do mesmo, fato que não possibilita a obtenção de uma peça livre das tensões residuais termo-induzidas, originando peças com defeitos.

Para Provenza (1993), Menges (1993), Rees (1995), Sors (1995), Stitz et al (2002), Harada (2004) e Brito et al (2004), a complexidade relativa ao desenvolvimento e projeto de um sistema de refrigeração eficiente, direciona os projetistas a observarem alguns aspectos que influenciam diretamente no processo de refrigeração, tais como:

- O tipo de polímero e a temperatura de processamento;
- A temperatura do molde deve ser uniforme;
- O espaço disponível no molde;
- A forma (perfil) da peça;
- O grau de condutividade térmica dos materiais aplicados junto às cavidades;
- A entrada do canal de refrigeração próximo ao bico de injeção, pois é a região de maior acúmulo de calor;
- O dimensionamento e localização adequada dos sistemas aplicados ao molde;
- As regulagens de parâmetros de processo e
- O acabamento superficial do molde e do produto que se deseja alcançar.

Ainda sob o ponto de vista dos mesmos autores, em função das características do produto e da configuração do molde, diferentes mecanismos e sistemas de refrigeração podem ser empregados na refrigeração do molde.

O calor conduzido para dentro da cavidade do molde pelo material fundido (Q_{Pi}) necessita ser extraído (Figura 2.8), assegurando-se, dessa forma, a solidificação do fundido, levando-o a assumir o perfil da cavidade do molde e, posteriormente, possibilitando ação de

sistemas de extração sobre esse produto moldado, sucedendo-se a sua remoção das cavidades, sem que haja danos ao mesmo.

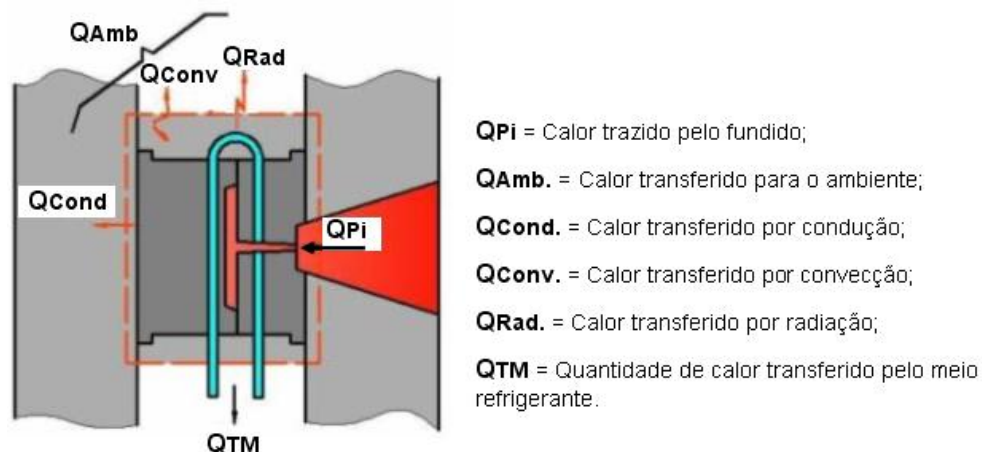


Figura 2.8 – Transferência de calor em um molde (BRITO et al 2004)

Em um processo de moldagem por injeção, verificam-se três formas distintas para a transferência de calor do material fundido para as placas do molde e desta para o ambiente externo, conforme ilustrado na Figura 2.8:

- **Convecção (Q_{conv})** - A convecção pode se dar de duas formas, a primeira através da convecção natural na superfície do molde com o ambiente que o circunda (Q_{Amb}) durante todo o processo de injeção e a segunda através da convecção forçada, quando se bombeia o fluido refrigerante pelos canais de refrigeração (Q_{TM}) ou mesmo, por resfriamento através do sopro de ar no molde aberto;

- **Condução (Q_{cond})** - ocorre na transmissão do calor do polímero fundido, através dos componentes do molde, chegando aos canais de refrigeração;

- **Radiação (Q_{rad})** - O calor transferido por radiação ocorre do molde para o ambiente que o circunda (Q_{Amb}).

Para que o sistema de refrigeração do molde de injeção se apresente de forma eficiente na troca de calor entre a massa injetada e as placas que compõem o molde, há necessidade de se optar por uma refrigeração forçada (convecção forçada), ou seja, é necessário que se tenha a circulação de um meio refrigerante como a água, o óleo ou mesmo gás pelo interior do molde, através de um circuito fechado.

Para tanto se faz necessário levar em consideração os tipos de sistemas e arquiteturas disponíveis e determinar qual deles propicia uma refrigeração de forma eficiente da massa fundida, que se encontra dentro da cavidade do molde e, por consequência, forma o produto independente do perfil deste.

2.4.1 Agentes de troca de calor empregados no controle de temperatura do molde

Segundo Brito et al (2002), a adoção da designação de **sistema de controle de temperatura** ou de **sistema de refrigeração** (Figura 2.9) depende, sobretudo, da

perspectiva de análise a ser realizada, considerando que determinados materiais necessitam que o molde seja resfriado enquanto outros sejam aquecidos, para que o processo de injeção seja satisfatório.

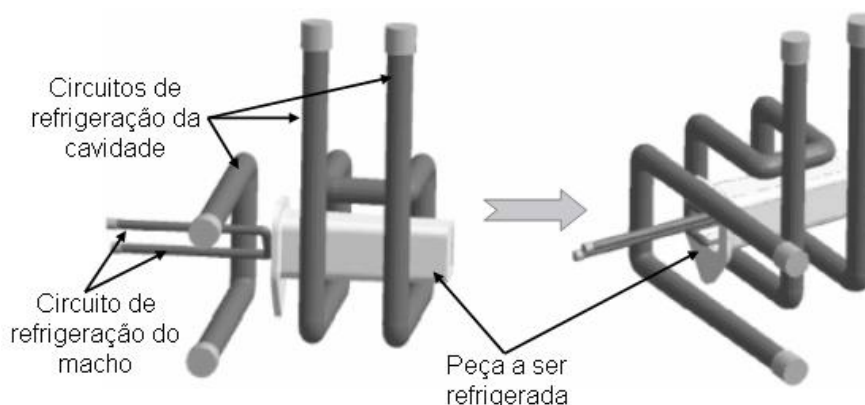


Figura 2.9 – Exemplo de sistema de controle de temperatura

Na Figura 2.9, demonstra-se um circuito de refrigeração empregado na refrigeração de uma peça. Nesse circuito podem ser observados os canais que refrigeram a parte interna (macho) e externa da peça (cavidade). É nesses circuitos que circulam os agentes refrigerantes como a água, óleo, gás entre outros.

De acordo com Provenza (1993), Cruz (2002), Britto et al (2004), Harada (2004) e Manrich (2005), os meios de refrigeração são:

- **Água em temperatura ambiente** - De acordo com Harada (2006), é o fluido mais empregado no processo de refrigeração, aproxima-se de 80% dos casos. Detalhe a ser considerado devido: à disponibilidade na natureza, ser reciclável, ter um custo relativamente baixo, possuir baixa viscosidade, ser suscetível a tratamentos, (por exemplo: água e óleo, água com anticongelante, tratamentos que possibilitam melhorar as suas propriedades físicas do fluido).

- **Água resfriada (gelada), Metanol + CO₂, Gás (CO₂ e nitrogênio)** – Utilizados quando há um superaquecimento dos machos e cavidades do molde de injeção ou quando a temperatura do molde necessita ficar abaixo de 3° C (STITZ et al, 2002);

- **Óleo e resistências elétricas** - empregadas quando há necessidade do molde permanecer com uma temperatura acima de 80°C, fato a ser considerado quando se injetam peças transparentes em policarbonato, acrílico e nylon (PROVENZA, 1993). Nesse contexto necessita-se levar em consideração que o óleo pode circular pelo mesmo circuito utilizado pela água e, quando do uso de resistências, é necessário fazer alojamentos para alojá-las;

- **Ar** – empregado quando for difícil o emprego de água como meio refrigerante ou quando se deseja um resfriamento lento. O circuito é similar ao empregado na refrigeração com água. Ainda de acordo com Brito et al (2004), o molde de injeção pode ser resfriado ou mesmo aquecido, dependendo do material a ser injetado e do processo empregado. Diante dessa afirmação o autor conclui que:

- **Moldes mais quentes** – o fluxo do material a ser injetado é facilitado, as peças apresentam melhor aspecto superficial e menores tensões internas, logo, de melhor qualidade, em contrapartida o tempo de resfriamento do componente injetado é maior, o que implica ciclos de produção mais longos e peças com custo mais elevado.

- **Moldes mais frios** – o fluxo do material a ser injetado é dificultado, podendo mesmo não chegar a preencher os pontos mais afastados da cavidade, ocasionando moldagens incompletas, quanto ao acabamento superficial é prejudicado e as tensões internas são evidentes, contudo o tempo de resfriamento é menor, o que proporciona ciclos de produção mais rápidos e peças com custos reduzidos.

2.4.2 Sistemas e arquiteturas dos circuitos de refrigeração

Segundo Dym (1987), Provenza (1993), Menges (1993), Sors (1995), Rees (1995), Stitz et al (2002), Cruz (2002), Harada (2004) e Manrich (2005), os sistemas de refrigeração aplicados aos moldes de injeção possuem arquiteturas/circuitos determinadas em função do perfil da cavidade (conforme a superfície externa do produto), ou macho (conforme a superfície interna do produto).

Ainda de acordo com os autores referenciados acima, os sistemas de refrigeração empregados nos moldes de injeção podem ser classificados em: normais (usinagem utilizando-se a broca), canais usinados, Bubbler, Baffles, barras refletoras (pino ou inserto condutor), serpentinas (espiral ou helicoidal), tubos transferidores de calor e canais que acompanham o perfil das cavidades dos moldes de injeção (canais obtidos por processo de prototipagem rápida).

Os sistemas acima relacionados dependem de um meio refrigerante para que a troca de calor se efetive. Para tanto podem ser empregados fluidos como a água e o óleo, também não poderia deixar de ser salientado o emprego de substância gasosa e resistências elétricas, considerando-se que esse último, juntamente ao emprego do óleo, são empregados em determinados materiais que apresentam a necessidade de aquecer o molde durante o processo de injeção.

Os sistemas provenientes de usinagem, aplicando-se o processo de furação, encontram-se conectados de forma a criar um circuito fechado, ou seja, o fluido circula nas cavidades do molde e retornam ao ponto de partida. Os circuitos desenvolvidos por processo podem ter em um único nível ou em vários, dependendo da altura da moldação e da arquitetura encolhida.

Os sistemas de refrigeração encontram-se subdivididos em arquitetura/circuitos, os mais comuns idealizados com furos também designados de linha d'água, podem apresentar a circuito em "U", "Z", retangular, circular entre outros, conforme pode ser verificado na continuação deste estudo.

Nas Figura 2.10 a 2.31 encontram-se representados alguns exemplos de sistemas de refrigeração empregados nos moldes de injeção. Alguns desses sistemas apresentam uma

combinação de arquiteturas/sistemas, considerando-se a necessidade imposta pelo projeto da peça, ou mesmo porque determinadas arquiteturas/sistemas não atuam sem o emprego de um meio refrigerante, fazendo-o depender de um sistema que empregue os canais usinados normalmente obtidos por meio do processo de furação.

- **Sistema: Furação (circuito em “U”)** – o circuito em “U”, de acordo com Cruz (2002), é adotado na refrigeração de cavidades, onde o perfil do produto é longo e baixo. Pode ser idealizado de três maneiras, de forma a permitir o direcionamento do fluxo do fluido refrigerante, sendo as conexões dos furos realizadas: cruzando-se as furações no interior do molde, aplicando-se tampões de vedação (Figura 2.10A); através de placas de conexão (Figura 2.10B), sendo uma sobreposta à face da placa do molde, a outra embutida na placa do molde e através da conexão externa por mangueiras (Figura 2.10C).

Quando se opta por conexão dos furos através de placas, a necessidade de soldar ou de parafusar as placas, na aplicação de parafusos, necessita de agentes de vedação como O-ring ou juntas.

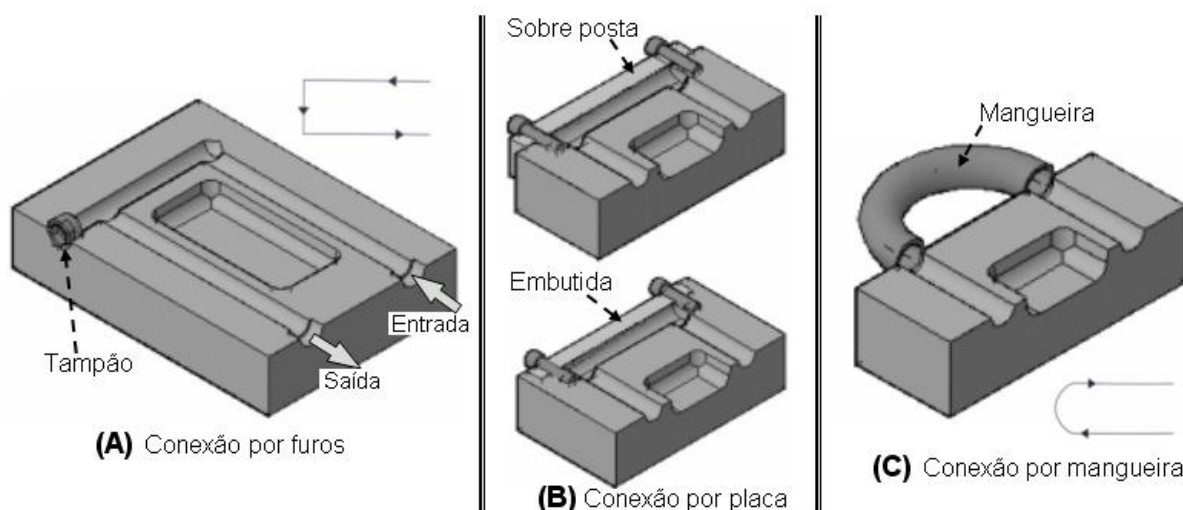


Figura 2.10 – Sistema com furação – Configuração em "U"

- **Sistema: Furação (circuito em “Z”)** – Segundo Brito et al (2004), esses sistemas são aplicados na refrigeração de moldes com duas ou mesmo de uma única cavidade, quando apresenta uma grande área (Figura 2.11). O desenvolvimento desse tipo de circuito é recomendado para peças que possuam um perfil baixo, em função do grau de complexidade do leiaute aplicado na configuração do molde.

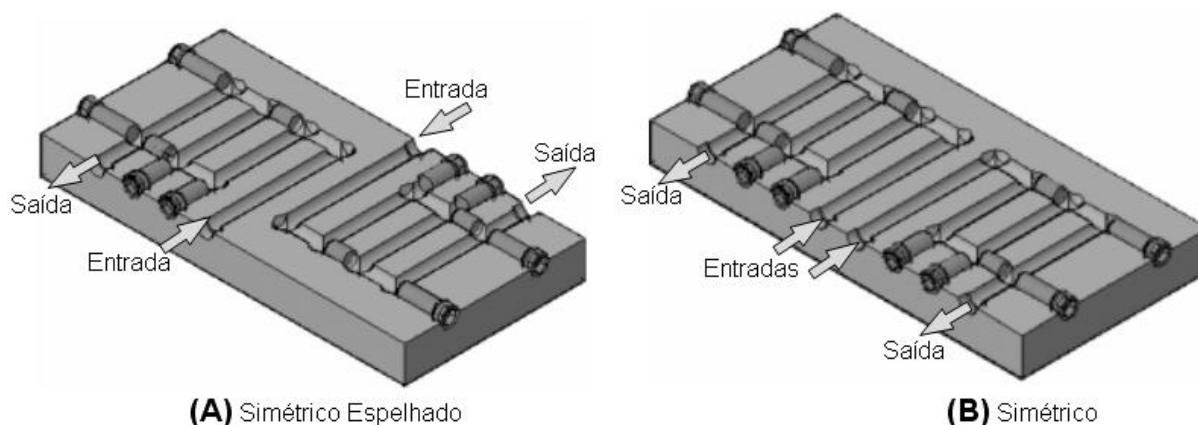


Figura 2.11 – Sistema com furação – circuito em "Z"

Para tanto pode-se optar entre o emprego de dois tipos de circuitos: a configuração simétrica espelhada (Figura 2.11A) empregada quando se trata de duas peças simétricas (direita e esquerda), adequada na obtenção de um resfriamento mais uniforme dessas peças. O inconveniente desse sistema são as entradas e saídas que estão em lados opostos do molde.

O simétrico (Figura 2.11B) é o mais recomendado, normalmente, por ter suas entradas e saídas no mesmo lado do molde. Em ambas as situações, as entradas do fluido refrigerante, podem ser localizadas “ao centro” com as saídas nos “extremos”, ou vice-versa. Na configuração desses dois tipos de circuitos, é necessário que se recorre aos tampões, de forma a criar os desvios de percurso necessários, de forma a garantir-lhe a vedação.

- **Sistema: Furação (circuito “retangular”)** – São aplicados na refrigeração de cavidades que apresentam um perfil na forma retangular (Figura 2.12), podendo as cavidades se apresentarem com pouca ou muita profundidade.

De acordo com Brito et al (2004), a profundidade da cavidade está relacionada à altura do produto, ou seja, às cavidades de pouca profundidade, adota-se um único nível para o circuito de refrigeração (Figura 2.12A) e para cavidades mais profundas adota-se um número maior de níveis (Figura 2.12B).

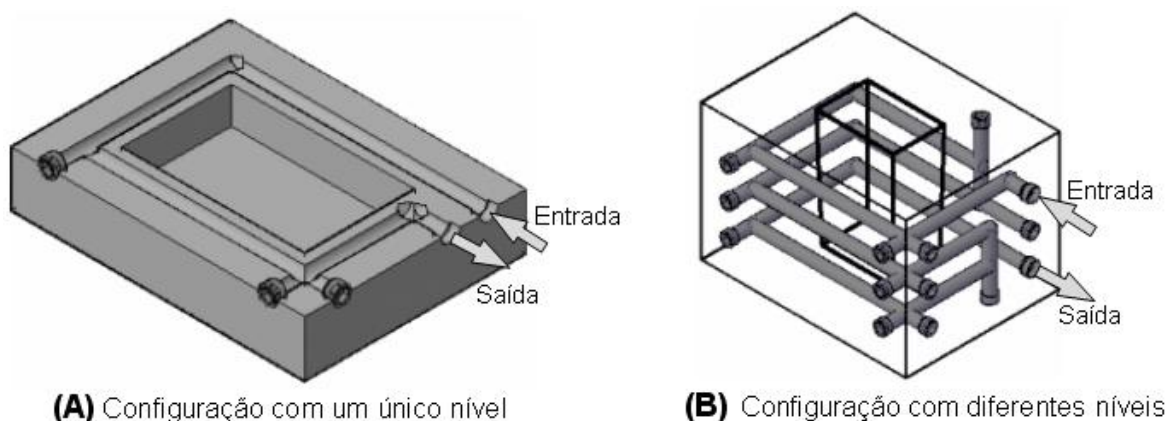


Figura 2.12 – Sistema com furação – Circuito "retangular"

Quando a configuração apresenta um número maior de níveis, é possível também a adoção de um número maior de entradas e saídas para o fluido refrigerante. Tal fato permite que a residência dentro dos canais de refrigeração do molde seja menor, logo, o controle da temperatura entre a entrada e a saída do fluido torna-se mais eficiente, possibilitando melhor efetividade na refrigeração da peça. Quanto à distância percorrida pelo fluido, ou seja, a distância entre a entrada e a saída do fluido refrigerante, deve ser a menor possível.

- **Sistema: Furação (Circuito alternativo para cavidades “circulares”)** – Esse tipo de configuração (Figura 2.13), é empregado na refrigeração de peças que apresentam um perfil circular, principalmente em peças que possuem uma grande área com perfil mais alto.

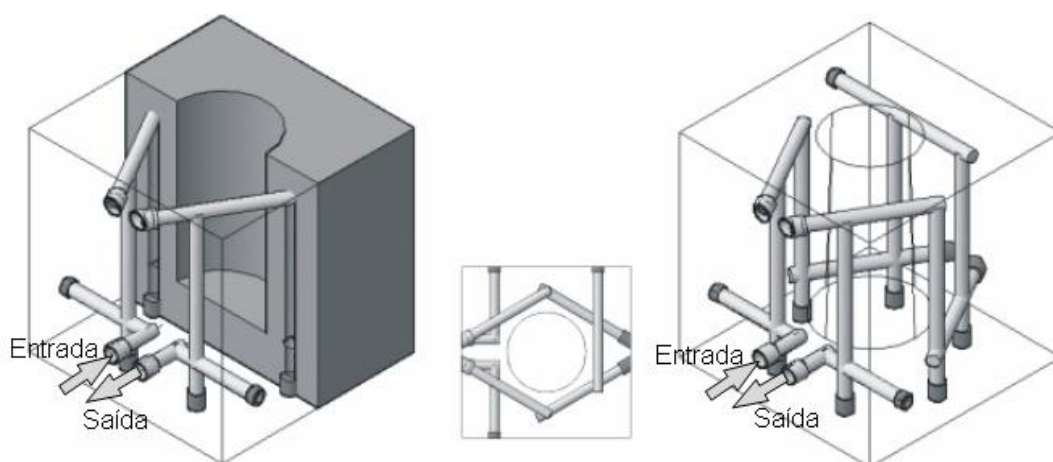


Figura 2.13 – Sistema com furação – Circuito "alternativo" (BRITO et al, 2004)

Para um produto como um balde, por exemplo, o sentido e a disposição dos furos quanto à posição podem ser trabalhados, tornando-o perpendicular ao furo de entrada do fluido de refrigeração, podendo ou não ser independentes, dependendo do tamanho do percurso.

Esse tipo de circuito permite que os canais possam ser usinados próximos da superfície interna do postigo, ou seja, próximo da superfície da cavidade, conforme representado na Figura 2.13, possibilitando a obtenção de uma melhor efetividade do sistema na refrigeração da peça. Quanto à arquitetura/circuito, dependendo da dimensão da peça, pode ter outra disposição, como um oitavado, por exemplo. (PROVENZA, 1993).

- **Sistema: Furação em placas com alta condutibilidade térmica (Apresentam-se nos circuitos “U” e “Z”)** – De acordo com Brito et al (2004), esse sistema é aplicado quando a placa cavidade possui muitos postigos, extratores, parafusos etc. (Figura 2.14), não restando espaço suficiente para a confecção de canais para circulação do fluido refrigerante. Nessa situação, a placa de refrigeração somente é atravessada pelos furos dos extratores.

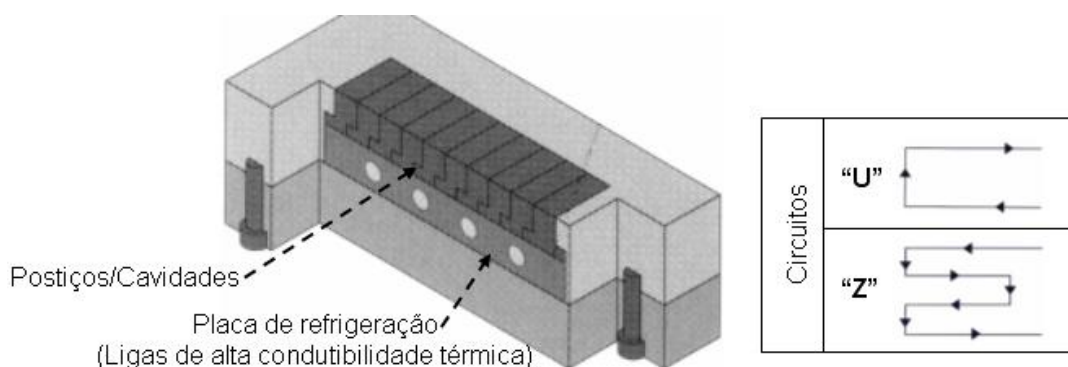


Figura 2.14 – Sistema com furação realizadas em placas de alta condutibilidade térmica (BRITO et. al, 2004)

- **Sistema: Furação (Circuito “usinado direto no postiço”)** – De acordo com Brito et al (2004), são implementados nos postiços de tamanho avantajados, tornando-se possível realizar os furos para refrigeração diretamente no próprio postiço (Figura 2.15).

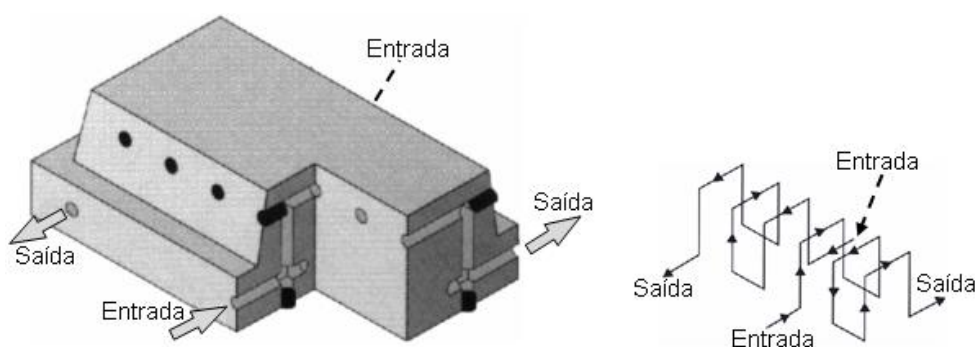


Figura 2.15 – Sistema com furação (circuito “usinado direto nos postiços”) (BRITO et al, 2004)

Para fechar os furos e direcionar o fluxo do fluido refrigerante, são empregados tampões, que são concebidos de uma liga de baixo ponto de fusão, com a intenção de tornar o sistema de transferência de calor mais eficiente e a superfície da cavidade novamente lisa. Apresenta a vantagem de não necessitar de pequenos postiços no interior da cavidade e a desvantagem de sempre deixar uma pequena marca no produto que, em certas situações, são indesejáveis, por exemplo, em peças transparentes.

- **Sistema: Furação (circuito “inclinado”)** – Aplicada em machos que se apresentam compridos, cujos furos são ligados no topo (Figura 2.16). Esse sistema permite evitar a furação da parede lateral do macho e os defeitos oriundos de possíveis marcas no produto injetado. O grande inconveniente é não poder ser aplicado em todos os perfis de machos, só em formas muito peculiares, conforme representado na Figura 2.16, pois dificilmente o circuito acompanhará o perfil do macho e possivelmente a refrigeração não será eficiente. (PROVENZA, 1993)

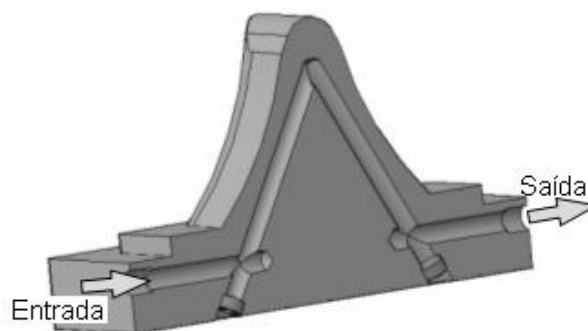


Figura 2.16 – Sistema com furação (circuito “inclinado”) (BRITO et al, 2004)

- **Sistema: Canal usinado (Circuito para cavidade “circular”)** – Conforme Brito et al (2004), é empregado quando há necessidade de que o canal acompanhe o perfil da peça, ou seja, fique localizado o mais próximo possível das paredes da cavidade (Figura 2.17).

Nesse sistema, o canal é usinado no próprio postigo, possibilitando que o fluido refrigerante circule de forma eficiente pelo circuito, refrigerando a superfície da cavidade. Quando a peça possui um perfil alto, é necessário trabalhar o número de níveis no macho (Figura 2.12B), podendo ou não ser independentes.

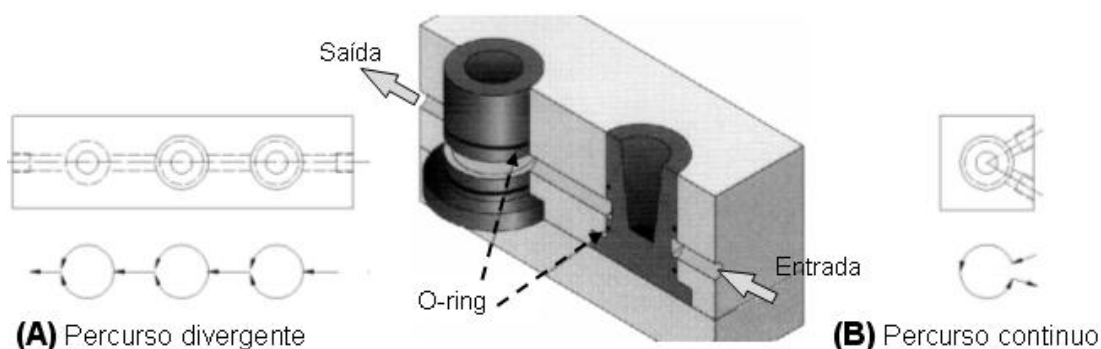


Figura 2.17 – Sistema canal usinado – Circuito para cavidade “circular” (BRITO et al, 2004)

O inconveniente dessa configuração é a utilização de agentes de vedação (anéis O-ring). Quanto ao percurso do fluido, pode apresentar duas configurações, um divergente (Figura 2.17A) e um segundo contínuo (Figura 2.17B), essa escolha está relacionada ao número e distribuição das cavidades no molde.

- **Sistema: Canal usinado (circuito “placas de refrigeração”)** – Recomendados para cavidades que necessitam de um controle de temperatura individual em cada uma das paredes da cavidade do molde. Nesse sistema, o circuito de refrigeração é usinado na placa de refrigeração (Figura 2.18), que é fixada no molde por meio de solda ou parafusos. No caso de parafusos, há necessidade do emprego de juntas ou anéis O-rings.

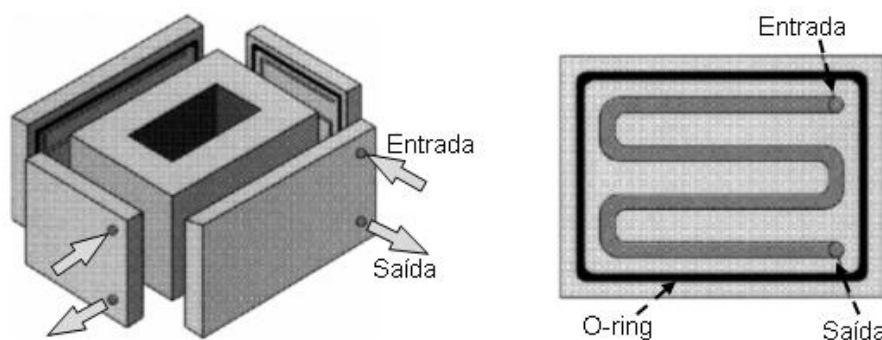


Figura 2.18 – Sistema com canal usinado – Circuito "placas de refrigeração" (BRITO et al, 2004)

De acordo com Brito et al (2004), é uma configuração pouco utilizada em moldes de injeção, seu uso se dá principalmente em moldes aplicados na obtenção de peças pelo processo de sopro.

- **Sistema: Canal com usinado (Circuito com aplicação de tubos de cobre)** – esse sistema de refrigeração apresenta-se na configuração “U”; “Z”; circular e retangular. Alternativa aplicada quando os furos de refrigeração cruzam a linha de junção do molde. Para tanto, os postigos são montados em caixas abertas (Figura 2.19). Quanto aos tubos empregados para formarem o circuito de refrigeração, necessita ser flexível, permitindo que acompanhe a configuração do circuito “U”, “Z”, circular e retangular, dependendo da necessidade apresentada. As folgas existentes entre o tubo de cobre e a caixa, em função da usinagem dos canais, necessitam ser preenchidas com uma liga de baixo ponto de fusão, o que facilita a transferência de calor. A união das placas do molde envolvidas pode ser realizada por parafusos. (PROVENZA, 1993).

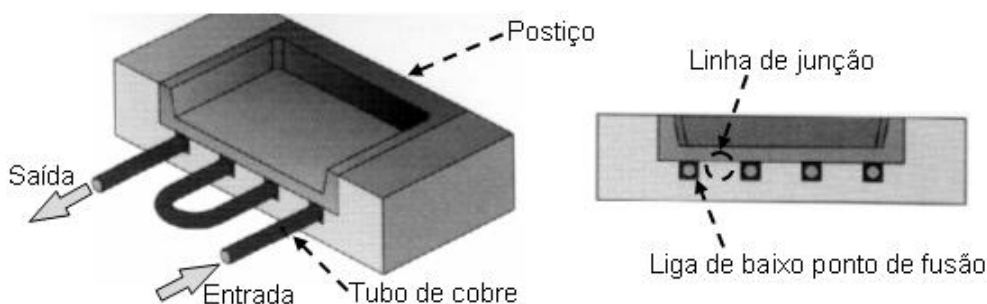


Figura 2.19 – Sistema com canal usinado (Circuito com aplicação de tubos de cobre) (BRITO et al, 2004)

- **Sistema: Canal usinado (Circuito em “espiral”).** – De acordo com Provenza, (1993) esses sistemas são aplicados em peças de grandes proporções, como a injeção de baldes e bacias, por exemplo. É aplicado na configuração da cabeça dos machos e no fundo das cavidades que apresentam a forma cilíndrica (Figura 2.20). Quanto ao número de espiras, dependerá da dimensão da peça a ser injetada.

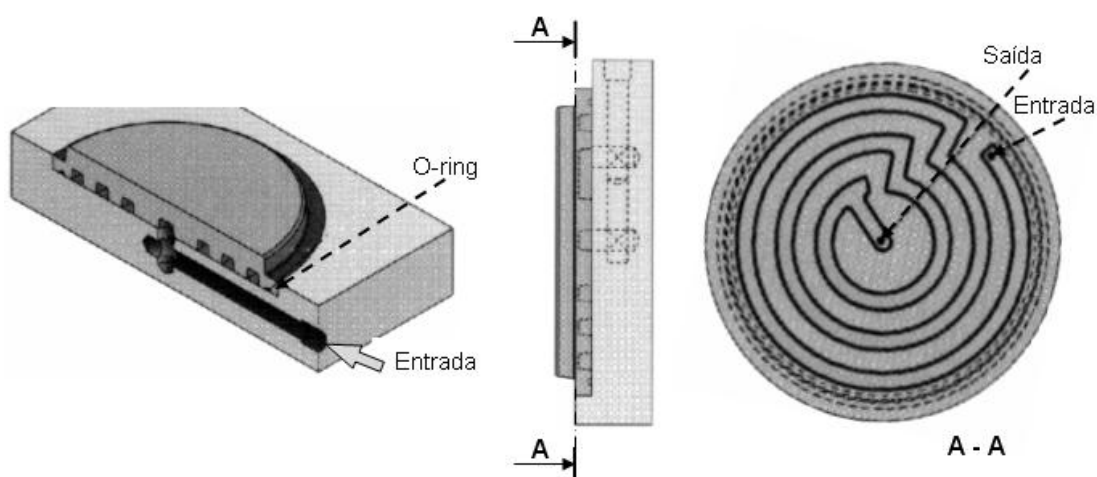


Figura 2.20 – Sistema canal usinado (Circuito em “espiral”) (BRITO et al, 2004)

Como inconveniente, o sistema apresenta um aumento relativo no tempo de usinagem desses canais, em relação aos demais sistemas. O sistema também pode ser empregado em peças que apresentem o perfil retangular, desde que os canais acompanhem o perfil da peça a ser moldada.

- **Sistema: Canal usinado (Circuito em “helicoidal”)** – Esse sistema é aplicado quando há necessidade de refrigerar as paredes laterais de uma peça. Os canais de refrigeração são usinados sobre um postigo na forma de uma rosca, podendo o helicoidal ser confeccionado com uma entrada (Figura 2.21A e Figura 2.21B) ou com mais entradas (Figura 2.21C). Os números de entradas são definidos em função da necessidade apresentada na refrigeração do produto injetado. (MENGES, 1993)

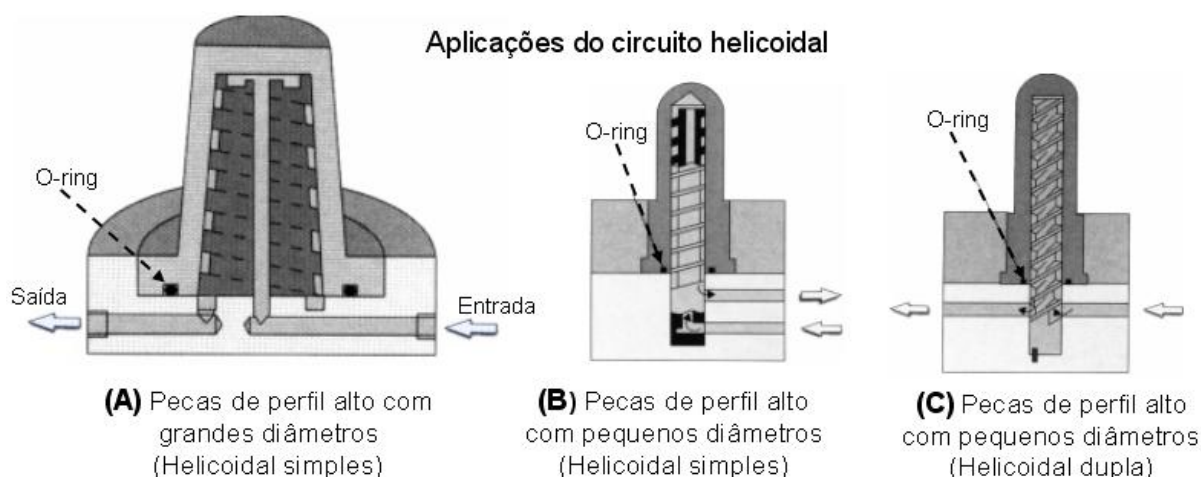


Figura 2.21 – Sistema canal usinado (Circuito em “helicoidal”) (BRITO et al, 2004)

Na Figura 2.21A , representa-se um exemplo aplicado em peças que apresentam um perfil alto e com grandes dimensões acima dos 50mm de diâmetro (exemplo uma bacia). Normalmente, para esse tipo de peça, faz-se necessário complementar com outro sistema, ou seja, associá-lo com um sistema de configuração em espiral (Figura 2.20), o qual permitirá a refrigeração da área que compõe o fundo da peça.

As configurações representadas nas Figura 2.21B e 2.21C, são recomendadas para machos compridos e com diâmetros de proporção menores que o anterior, podendo variar entre 12 e 50mm. No exemplo da Figura 2.21B, o fluido de refrigeração entra pelo centro do macho e sai pela helicoidal. A Figura 2.21C apresenta um circuito com duas helicoidais, sendo que o fluido entra por uma e sai pela outra helicoidal.

Como desvantagem, o sistema apresenta canais de refrigeração compridos, o que aumenta o tempo de residência do fluido dentro dos canais, logo, o controle da diferença de temperatura entre a entrada e a saída do fluido refrigerante pode ser difícil, proporcionando menor efetividade do sistema na refrigeração da peça.

- **Sistema: Bubbler (Circuito em “cascata”)** – De acordo com Brito et al (2004), esse sistema também é conhecido pela expressão borbulhante. O sistema Bubbler é composto de um tubo usinado, inserido em uma furação existente no macho. O fluxo do fluido refrigerante passa inicialmente pelo interior do tubo e retorna pela folga existente entre o tubo e o macho, na forma de uma cascata (Figura 2.22). Esse tipo de sistema é recomendado quando se deseja levar a refrigeração a algum ponto do molde, onde, pela falta de espaço, não é possível a usinagem de um canal de retorno, permitindo levar e trazer o fluido através de um único furo. (MENGES, 1993)

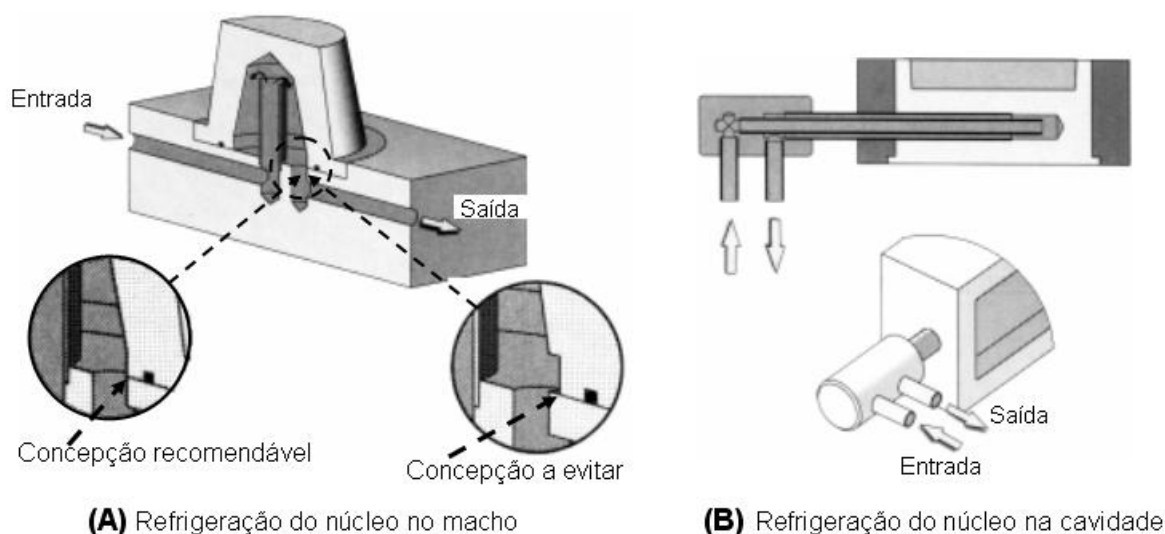


Figura 2.22 – Sistema Bubbler aplicado no macho e na placa cavidade (BRITO et al, 2004)

Nas Figura 2.22A e 2.22B, representam-se dois exemplos, onde o sistema é empregado para refrigeração do núcleo de um macho, muito empregado atualmente na substituição do sistema do tipo serpentina, devido à sua eficiência na refrigeração, em função de apresentar menor percurso na circulação do fluido, através da adoção de um número maior de entradas e saídas. Na Figura 2.22B, representa-se um exemplo onde o sistema fora empregado na placa porta-cavidade, em função da sua pouca espessura, possibilitando o fluxo do fluido (entrada e saída) através de um único furo (BRITO et al, 2004).

• **Sistema: Baffles (Circuito em “cascata”)** – De acordo com Brito et al (2004) esse sistema (Figura 2.23) também é conhecido por lâmina separadora ou palheta. É um sistema similar ao Bubbler, tanto no que se refere à sua concepção quanto à sua aplicação, a diferença encontra-se no tipo de separação empregado na furação para que haja possibilidade da circulação do fluido.

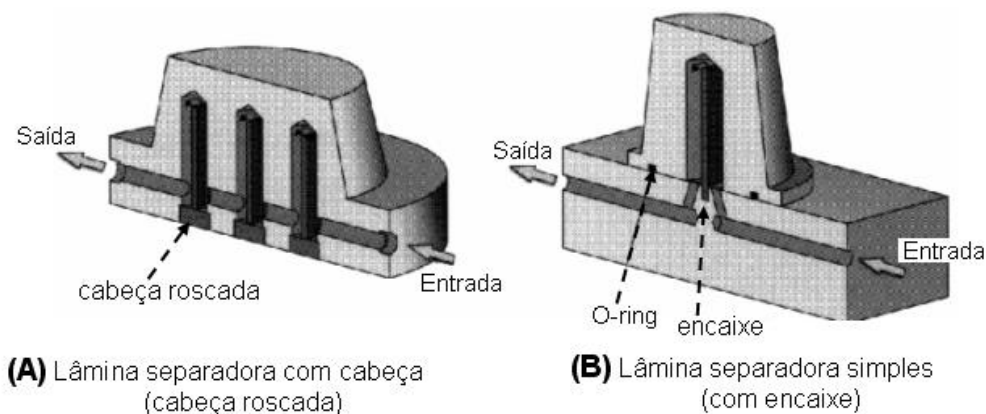


Figura 2.23 – Sistema Baffles ou lâmina separadora (BRITO et al, 2004)

A separação se dá através de uma lâmina separadora, que divide a furação em dois canais semicirculares, conforme representado nas Figura 2.23A e 2.23B, sendo que a lâmina separadora deve estar sempre perpendicular ao furo de passagem, no caso de entrada, obrigando o fluido subir por uma de suas extremidades e descer pela outra (MENGES, 1993). Quanto à fixação das lâminas, pode ser com cabeça rosca (Figura 2.23A) ou somente encaixado na placa (Figura 2.23B). O perfil da palheta pode ser encontrado reto ou torcido em espiral, essa última torna o sistema mais eficiente, devido ao aumento da turbulência formada no interior do circuito.

Nota: Na Figura 2.24 é representada uma configuração, onde se aplica tanto o sistema Bubbler como o Baffles, no contorno de peças que apresentam grandes proporções, como baldes e banheiras, assim permitindo a sua localização muito próxima ao perfil da cavidade.

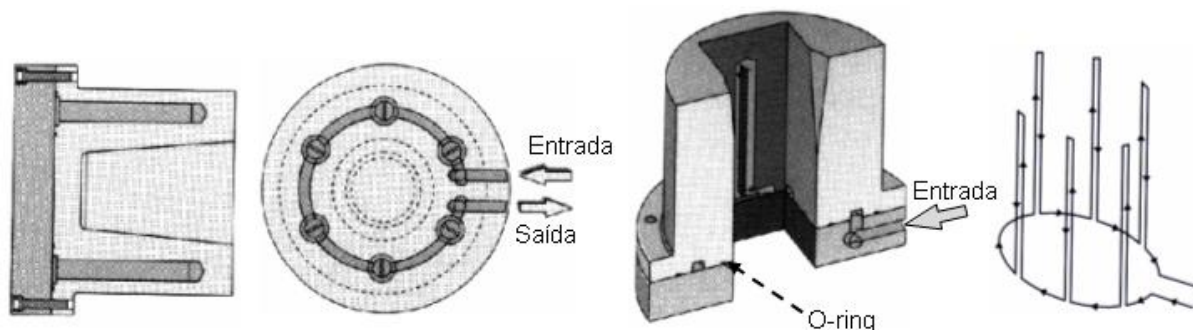


Figura 2.24 – Configuração do sistema Bubbler e Baffles, aplicado em peças de grandes proporções (BRITO et al, 2004)

É um sistema aplicado na substituição do sistema do tipo serpentina helicoidal, por apresentar-se um sistema mais eficiente nesse tipo de peças. Pode ser aplicado tanto no macho quanto na placa cavidade.

- **Sistema: Barras refletoras (pinos ou inserto condutor de calor)** – Essa solução encontra-se baseada no princípio da utilização de materiais alternativos que apresentam elevada condutibilidade térmica como as ligas de cobre (ampcoloy 940, cobre-berílio, entre outros), cuja condutividade térmica pode variar entre 4 e 10 vezes superior ao do aço usado nas cavidades dos moldes (P20, H13 entre outros).

Quanto à forma das barras refletoras, podem apresentar secções: cilíndricas, laminares ou quadradas e são determinadas em função da necessidade da aplicação. O sistema é disposto em regiões da cavidade do molde que apresentam difícil acesso, ou seja, não possibilita a realização de sistemas baseados unicamente no processo de furação, levando-se em consideração que tal princípio, corrobora de modo significativo na eficiência da refrigeração de determinadas regiões dos componentes moldados.

Na Figura 2.25, são representados dois exemplos desse sistema.

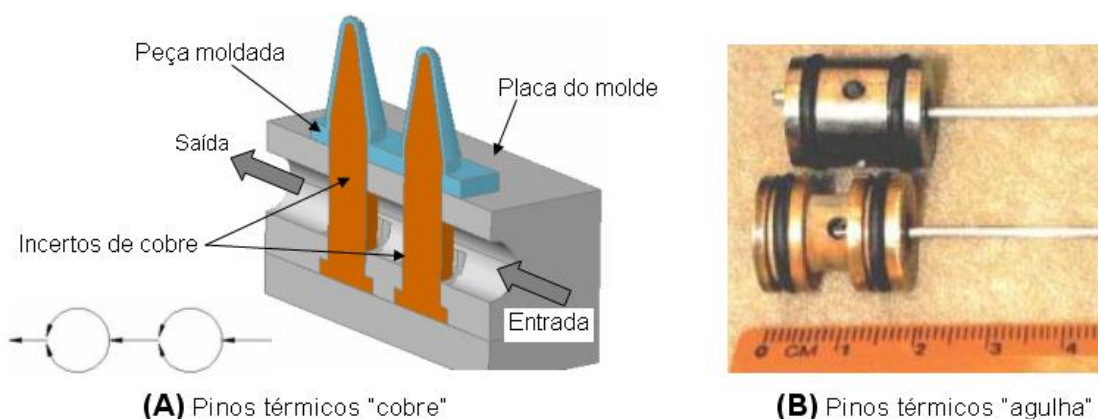


Figura 2.25 – Barras refletoras ou pinos térmicos (Adaptado de STITZ et al, 2002)

Na Figura 2.25A, pode-se verificar um exemplo de configuração para o sistema/arquitetura, onde os inserts mantêm contato com o material moldado. Há configurações onde o pino condutor de calor fica embutido no macho, de forma a não ter contato com o material moldado, em função da dureza dos materiais aplicados no pino térmico, em ambas as configurações, uma das extremidades do pino encontram-se em contato com fluido refrigerante, por se efetuar a troca de calor.

Na Figura 2.25B, apresenta-se um exemplo de pinos térmicos tipo agulha. Segundo Stitz et al (2002), esses tipos de pinos térmicos são recomendados para moldes que possuem alto volume de fluxo e peças de dimensões pequenas. Esse sistema assume a forma de tubos semelhantes a agulhas hipodérmicas, onde líquidos ou gases podem ser introduzidos através delas, para atingirem pequenas áreas do molde que requerem resfriamento.

- **Sistema: Tubos transferidores de calor** – Apresentam-se no formato de pino cilíndrico oco e hermeticamente selado (Figura 2.26). No seu interior encontra-se um circuito fechado de transferência de calor atuando através de um fluido refrigerante, que se encontra

em constante movimento, procurando uniformizar a temperatura ao longo de todo comprimento do pino térmico, removendo o calor das zonas próximas à peça.

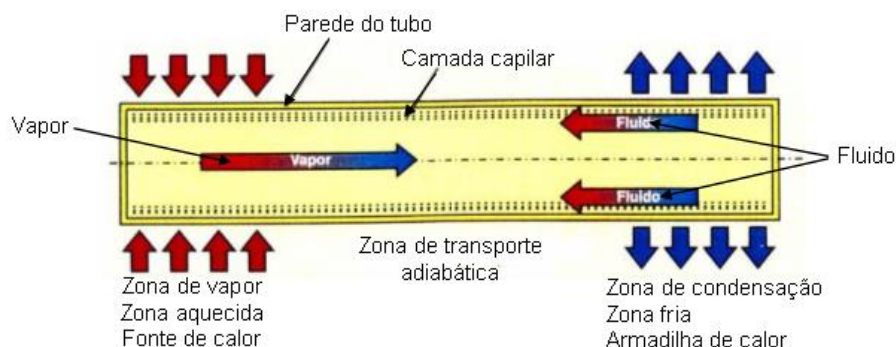


Figura 2.26 – Sistemas com tubos transferidores de calor (STITZ et al, 2002)

De acordo com Stitz et al (2002) e Brito et al (2004), a eficiência deste sistema é superior ao uso unicamente de fluido como a água. Como inconveniência há os pinos que não podem ser cortados, ou seja, ajustados a uma altura determinada e, para serem eficientes, necessitam que 1/4 do seu comprimento encontre-se banhado em um fluido refrigerante, dessa forma condicionando o projeto do molde em determinadas medidas.

Quanto ao funcionamento, dá-se de forma cíclica, conforme apresentado na Figura 2.27. Numa extremidade encontra-se a fonte de calor (A), onde fluido é valorizado e na sequência desloca-se para a outra extremidade (B), que se encontra mergulhada num fluido resfriado (C), momento onde o vapor perde calor e condensa, voltando à outra extremidade por capilaridade (D), assim iniciado-se um novo ciclo.

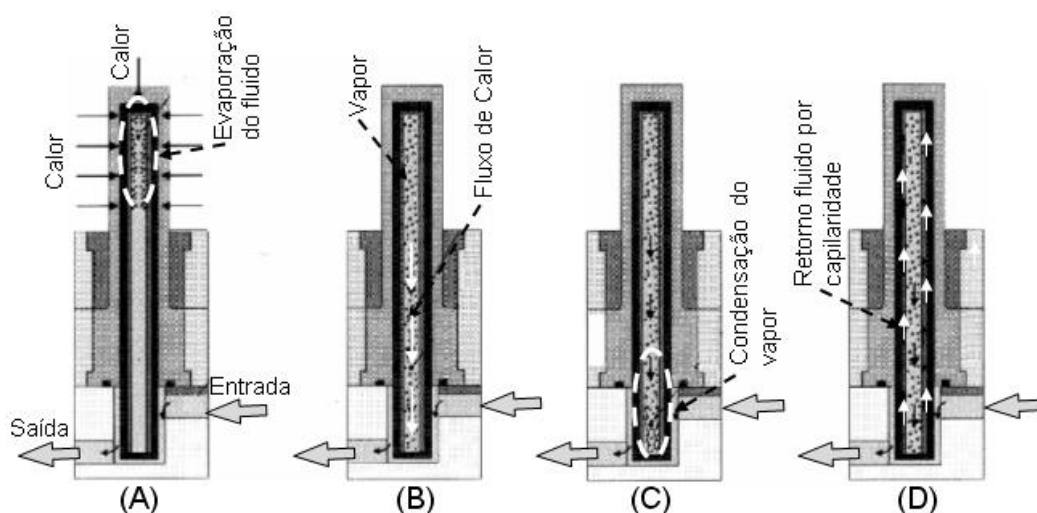


Figura 2.27 – Funcionamento do sistemas com tubos transferidores de calor (BRITO et al, 2004)

- **Sistema: Refrigeração a gás** – Segundo Stitz et al (2002), é um meio alternativo de refrigeração, onde se emprega um gás como agente refrigerante. Normalmente, emprega-se o dióxido de carbono ou nitrogênio (Figura 2.28).

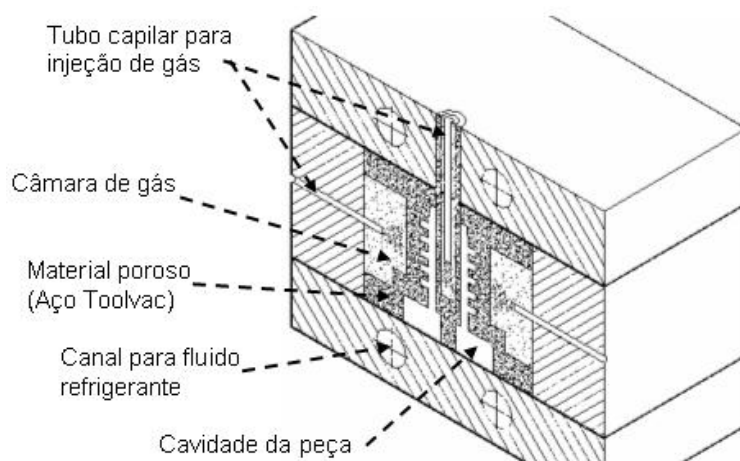


Figura 2.28 – Princípio do resfriamento a gás (Adaptado de STITZ et al, 2002)

O funcionamento desse sistema se dá através da injeção de gás no molde pelo tubo capilar, como pode ser observado na Figura 2.28. O tubo direciona o gás sob pressão até uma câmara, onde o gás entra em contato com o elemento metálico poroso (aço Toolvac).

Dessa forma, o gás penetra na porosidade do aço Toolvac, até que o mesmo entre em contato com o material injetado dentro da cavidade do molde. Ao entrar em contato com o material aquecido, evapora e, na sequência, é eliminado pelas saídas de gás constantes no próprio molde. Para tanto o material poroso necessita constituir o macho ou cavidade do molde.

- **Sistema: Canais para resfriamento adaptados ao contorno das peças (machos e cavidades)** – De acordo com Stitz et al (2002); Lima et al (2004) e Cardon (2008), são canais de resfriamento que, em função do princípio construtivo, permite que os canais sejam desenvolvidos próximo ao contorno da cavidade (Figura 2.29). Essa condição contribui significativamente na homogeneização do campo de temperatura nas cavidades do molde e aumenta as taxas de transferência de calor, comparando-se aos canais tratados como convencionais.

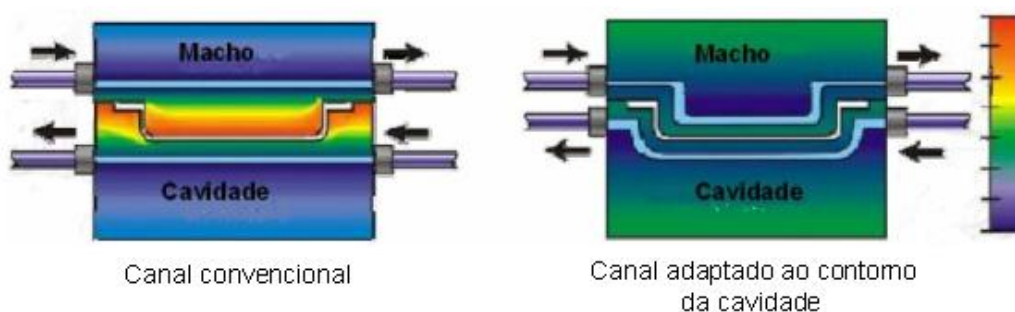


Figura 2.29 – Comparação entre a eficiência dos tipos de canais. (CARDON, 2008)

Os canais desenvolvidos de acordo com o perfil da cavidade podem ser obtidos através do princípio de prototipagem rápida. As cavidades e os machos podem ser obtidos empregando-se processos tais como: aplicação de resinas não-metálicas na zona de

moldagem (moldes híbridos) ou de deposição de metais (*Selective Laser Sintering (SLS)*, *Selective Laser Melting (SLM)*, *Direct Metal Laser Sintering (DMLS)*, *3D Printing Technologies*).

De acordo com Lima et al (2004), o emprego de resinas não metálicas na zona de moldagem possui propriedades térmicas desfavoráveis, fato que tende a aumentar o ciclo de moldagem da peça injetada. Na Figura 2.30, apresenta-se um exemplo de molde híbrido, com a localização de tubos de cobre, que servirão como canais de refrigeração, e o vazado uma resina epóxi, dando formato aos insertos com as cavidades do molde.

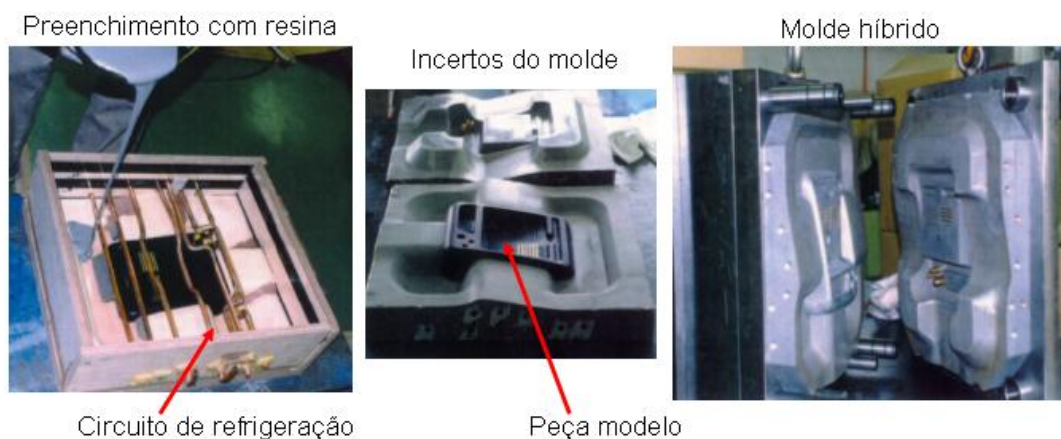


Figura 2.30 – Molde híbrido. (CARDON, 2008)

Os processos *Selective Laser Sintering (SLS)*, *Selective Laser Melting (SLM)*, *Direct Metal Laser Sintering (DMLS)*, *3D Printing Technologies* são tecnologias revolucionárias que produzem peças à base de metal, que são 99.99% densas (sólidas), obtidas diretamente dos dados dos desenhos realizados em 3D. Esses processos, além de vantagens competitivas quanto aos custos de fabricação e prazos de entrega, há a questão da liberdade de se trabalhar a geometria das peças. (KRUTH et al, 2005; CARDON, 2008 e OSÓRIO et al, 2008).

Na confecção dos insertos para molde de injeção, além de ser obtido o perfil da cavidade, são gerados canais de refrigeração embutidos e conformados de acordo com esse perfil, ou seja, obtêm-se insertos com canais de refrigeração que podem ser aplicados diretamente no molde de injeção, mantendo-se as características térmicas e propriedades mecânicas proveniente dos aços. Na Figura 2.31, apresenta-se um exemplo de incerto com os respectivos canais de refrigeração conformados ao perfil da peça a ser molda.

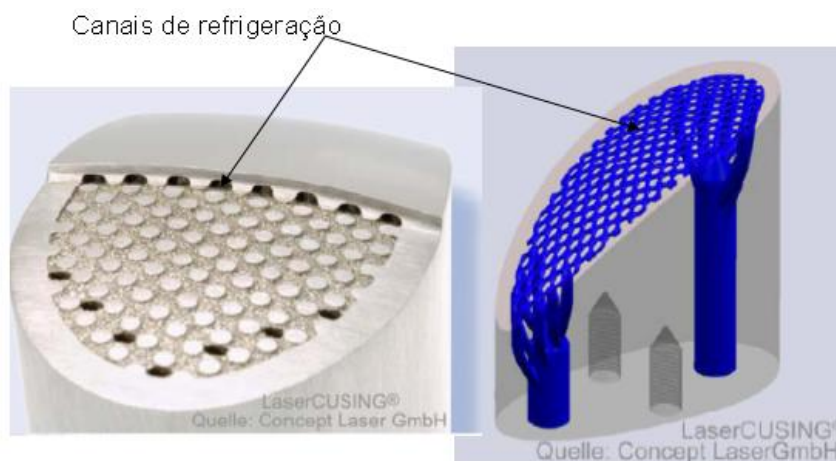


Figura 2.31 – Canal de refrigeração desenvolvido próximo ao contorno do macho (CARDON, 2008)

2.4.3 Aspectos gerais referentes ao dimensionamento do sistema térmico

De acordo com Harada (2004) e Brito et al (2004), o dimensionamento do sistema térmico e a verificação de sua eficiência de forma precisa, durante o ciclo de injeção aplicando-se modelos matemáticos, seria inviável em termos práticos. Tal condição é atribuída ao processo de injeção e ao projeto do sistema de refrigeração, já que as temperaturas, em diferentes partes da superfície do molde, podem oscilar em função do ritmo irregular do ciclo de injeção e devido ao tipo de circuito de refrigeração escolhido para o molde de injeção. Sendo assim, em muitos casos, são necessárias modificações (ajustes) nas condições de processamento.

Considerando o exposto, Peixoto (1999) contribui quando afirma que, ao ser dimensionado um sistema térmico aplicado ao molde para injeção de materiais poliméricos, se faz necessário considerar algumas simplificações, tais como:

- considerar o processo de injeção a quase estático;
- desprezar as flutuações existentes nas temperaturas e nos fluxos térmicos durante o ciclo;
- considerar valores médios para as propriedades dos materiais poliméricos e dos materiais aplicados no próprio molde.

Tais simplificações tornam o problema do dimensionamento do sistema térmico possível de ser determinado, sem afetar de maneira significativa os resultados que, em termos práticos, apresentam-se satisfatórios.

Quanto aos cálculos aplicados no processo de dimensionamento do sistema de refrigeração e na determinação de sua eficiência, quanto à remoção de calor do produto moldado, podem ser observados com maiores detalhes em: Blass (1988), Provenza (1993), Menges (1993), Rees (1995), Cruz (2002), Harada (2004) e Brito et al (2004).

Segundo Menges (1993) e Harada (2004), no processo de injeção, a eficiência de um sistema de refrigeração é percebida quando a diferença entre as temperaturas – entrada e saída do fluido refrigerante – encontrarem-se entre 2 e 5 °C, consequentemente a diferença

entre as temperaturas verificadas sob as superfícies da cavidade do molde não deve exceder a 5 °C. Sendo assim, o controle da quantidade de fluido refrigerante que circula nas cavidades do circuito de refrigeração auxilia na efetivação de uma temperatura homogênea em toda a superfície do molde.

2.4.4 Tecnologias CAE, aplicadas no dimensionamento e análise de sistemas de térmico

O desenvolvimento e a aplicação de softwares de simulação CAE (*Computer Aided Engineering*), na análise de projeto de peças fabricadas a partir do processo de moldagem por injeção, têm aumentado significativamente nos últimos anos.






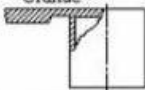

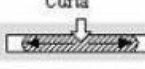
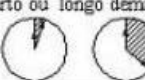

De acordo com os estudos de Sacchelli et al (2002) e Carneiro (2006), o dimensionamento e a análise detalhada de um sistema de refrigeração (sistema térmico) através de um aplicativo CAE é muito útil, pois, através desse aplicativo, é possível a determinação de futuros problemas referentes: à construção do molde de injeção e ao processo de produção do componente moldado, o que possibilita uma otimização no projeto do molde e nos parâmetros aplicados durante o processo de produção. Atualmente, esse tipo de serviço, empregando-se um software de simulação, é realizado principalmente em peças de alto grau de complexidade ou quando solicitado pelo cliente.

Segundo Peixoto (1999), a utilização das ferramentas (softwares), aplicadas na simulação de injeção de materiais plásticos, está sendo cada vez mais empregada no sentido de maximizar/minimizar problemas no processo produtivo, assim partindo desde a concepção da peça a ser moldada até o projeto do molde de injeção.

De acordo com Schubert et al (2002), para diminuir os custos e reduzir o tempo despendido no desenvolvimento e na manufatura dos moldes, tornou-se essencial o emprego de softwares na simulação do processo de injeção. Tais condições são atribuídas ao aumento do número de requisitos a que os produtos desenvolvidos em materiais poliméricos têm de atender e a pressão exercida pelo mercado sobre o lançamento desses produtos, num período cada vez mais curto.

Ainda segundo os autores citados, o software destinado à atividade de análise do processo de injeção, permite a simulação do preenchimento da cavidade do molde de uma forma detalhada, o que torna possível seu uso na identificação de parâmetros de processo realistas, corroborando na preparação do processo produtivo.

Na Figura 2.32, são apresentadas as principais variáveis de processo e do produto a ser considerado na elaboração de um projeto de um molde de injeção. Inclusa nessas variáveis encontra-se a temperatura do molde, assunto de estudo deste trabalho (destaque com linha tracejada).

Variáveis	EspeSSura da peça	Maior pressão requerida 	Menor pressão requerida 
	Área da peça	Maior área superficial para resfriar 	Menor área para resfriar 
	Tamanho do bocal	Pequeno 	Grande 
	Extensão do escoamento	Longa 	Curta 
	Tempo de injeção	curto ou longo demais 	otimizado 

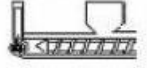

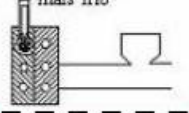
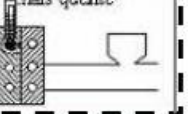
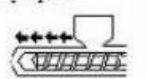
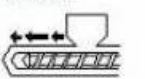


Variáveis	Temper. de injeção do Polímero	mais frio 	mais quente 
	Temper. do Molde	mais frio 	mais quente 
	Velocidade de injeção	imprópria 	otimizada 
	Índice de Fluidez	Baixo 	Alto 

Figura 2.32 – Variável de processo (C-MOLD, 1998)

A análise de CAE permite a análise desses parâmetros, fato que possibilita a verificação da influência de cada um deles no processo como um todo. É importante observar que, durante o projeto do molde, as variáveis apresentadas podem estar interligadas, ou seja, uma é dependente da outra, o que propicia um perfeito funcionamento do conjunto.

De acordo com Sacchelli (2000), uma análise da simulação de injeção de polímeros fornece dados de interesse a todo processo envolvido, seja de injeção do produto ou processo de produção, dados que podem ser o diferencial na qualidade do produto final e num processo de custos reduzidos.

Ainda sob a ótica do mesmo autor, os dados resultantes de uma simulação são: a espessura de camada congelada; o tempo de injeção; a tensão de cisalhamento; a taxa de cisalhamento; o avanço da frente de enchimento, a pressão de injeção; a força de fechamento; o perfil de velocidade; as saídas de ar; as linhas de junção (soldas frias); o tipo de circuito e arquitetura do sistema de refrigeração mais eficiente ao processo; o empenamento da peça em função da contração do material.

O software também possibilita dimensionar o porte da máquina a ser empregada no processo produtivo, bem como decidir a quantidade de cavidades no molde, o local e o tipo de sistema de alimentação mais eficiente.

O processo de simulação de injeção possibilita uma visão do processo como um todo, permite uma análise de dentro para fora, possibilitando melhorias antes mesmo de qualquer trabalho de usinagem do molde de injeção.

O módulo do software *Cool* permite a análise do resfriamento da peça em função do sistema de refrigeração utilizado, levando em consideração: a temperatura do material a ser injetado; o tipo de fluido refrigerante; a distribuição, dimensões, tipos e arquiteturas de sistemas de refrigeração; espessuras das paredes do produto moldado e a condutividade térmica dos materiais empregados nas cavidades do molde.

Na Figura 2.33, pode ser observado um exemplo de análise, que foi desenvolvida levando-se em consideração o estudo dos canais de refrigeração aplicados num molde de injeção para uma determinada peça a ser moldada.

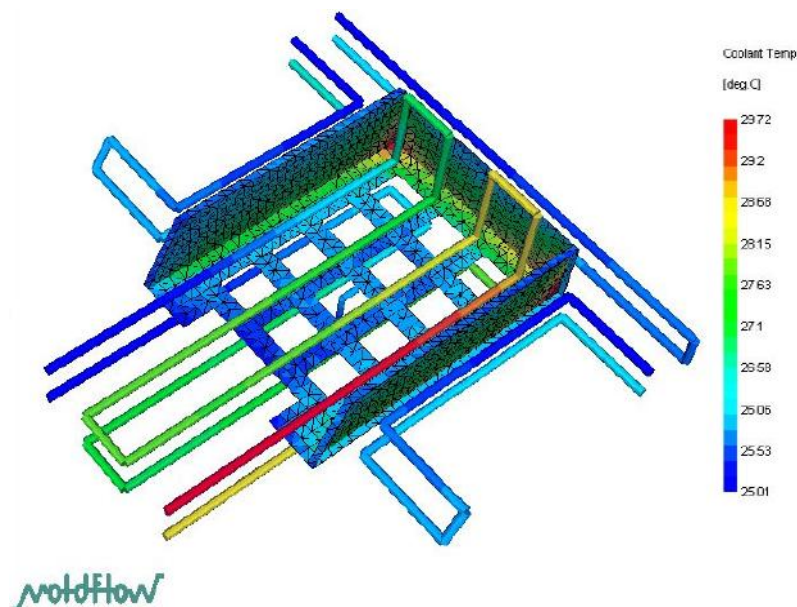


Figura 2.33 – Análise de refrigeração empregando o software *Moldflow*

Essa análise, através da paleta de cores, situada à direita da figura, indica a temperatura do fluido ao longo do seu percurso nos canais de refrigeração. A partir da análise, o sistema de refrigeração pode ser otimizado, fato que proporciona benefícios tais como:

- A redução no tempo de ciclo, pois o tempo de resfriamento da peça responde por aproximadamente 80% do tempo total (Rees, 1995);
- Estabilidade no dimensional do produto, considerando-se que tal fato pode ser diretamente influenciado pelo resfriamento não uniforme do mesmo;
- Melhoramento da qualidade do acabamento superficial da peça (brilho, escamações, manchas);
- Condições de processo otimizadas, considerando a distribuição homogênea da temperatura, tanto na peça quanto no próprio molde (cavidades).

De acordo com Gesenhues et al (2003), a qualidade dos resultados apurados na simulação depende muito frequentemente do grau de exatidão das informações, quanto às condições de contorno do produto ligadas ao processo de manufatura e das propriedades do material a ser injetado.

Ainda segundo os mesmos autores, os resultados obtidos durante o processo de simulação, necessitam ser perpetuados na máquina injetora para o desenvolvimento do processo produtivo, fato que torna possível a verificação da concordância, com as condições de contorno assumidas na análise, através do uso de sensores e técnicas de medição apropriadas.

Durante os últimos anos, foram apresentados ao mercado novos simuladores, alguns apresentados na Tabela 2.2. Segundo Sacchelli (2000), a evolução dos aplicativos de simulação se deu em função do grande desenvolvimento dos computadores, que permite a resolução de equações cada vez mais complexas.

Tabela 2.2 – Aplicativos de simulação numérica

Software	Fornecedor	Análise Térmica
<i>SIMPOE-MOLD</i>	<i>SIMPOE-MOLD</i>	<i>SIMPOE-Cool</i>
<i>C-Mold</i>	<i>CCMP</i>	<i>C-Cool</i>
<i>I-Deas Plastics</i>	<i>SDRC</i>	<i>Polycool, I-DEAS Mold; Cooling</i>
<i>MoldFlow</i>	<i>MoldFlow</i>	<i>MF- Cool</i>

Fonte: Adaptado de Sacchelli (2000)

De acordo com a pesquisa de Sacchelli et al (2004), foi constatado que nenhuma empresa (ferramentaria) sediada no polo industrial de Joinville, possui aplicativos CAE, destinados à simulação e análise de injeção instalados em suas unidades, devido ao alto preço e à baixa frequência na utilização, pois nem sempre o cliente aceita o custo da análise.

Ainda segundo o mesmo autor, quando o cliente solicita esse serviço, é por que a peça apresenta alto grau de complexidade, sendo necessária uma análise de *flow*. Para a realização desse trabalho, o serviço é terceirizado e o software mais aplicado, na maioria dos casos, é o *MoldFlow*.

2.4.5 Os defeitos em peças injetadas, relacionados ao sistema de refrigeração

Segundo Brito et al (2004), Cunha (2005) e Sancho (2005) os defeitos nas peças injetadas são inúmeros, provocando problemas no que tange à resistência e à qualidade do acabamento superficial do componente, afetando diretamente a comercialização. Atualmente, contabilizam-se mais de cinquenta defeitos identificados, relacionados aos componentes injetados.

De acordo com Steinko (2004), no mínimo 60% dos defeitos aparentes registrados no componente injetado, podem estar relacionados à ineficiência do sistema de refrigeração, em virtude da escolha inadequada do sistema ou mesmo um projeto incorreto do sistema de controle de temperatura do molde.

Tais defeitos são oriundos de fontes distintas tais como:

- **Projeto da peça** – Geometria irregular, espessuras mínimas e máximas, nervuras mal dimensionadas, ângulo para extração e desenho estrutural mal elaborado.
- **Material a ser injetado** – diferença na qualidade da matéria-prima, porcentagem de material recuperado (reciclagem), contaminação, preparação prévia da matéria-prima, acondicionamento posterior e incompatibilidade do aditivo adicionado à matéria-prima.

- **Processo** – parâmetros de processo ineficiente, controle do processo da injetora, elementos mecânicos em mau estado, equipamentos periféricos avariados, erro humano e embalagens inadequadas.

- **Molde de Injeção** – Relacionado a cantos vivos, perfil das cavidades, dimensionamento e posicionamento das entradas de injeção, polimento inadequado das cavidades, saídas de ar e sistema de refrigeração ineficiente, alvo deste estudo.

- **Outras causas** – problemas climáticos como a temperatura e umidade relativa do ar, ataques químicos de desmoldantes, cargas mecânicas e transportes.

Brito et al (2004), Cunha (2005) e Sancho (2005) apresentam treze defeitos que podem apresentar a sua origem na ineficiência do sistema de refrigeração. Assim sendo, reforça o conceito de controle da temperatura de um molde é de extrema importância, pois a falta, o excesso ou uma diferença muito acentuada entre a temperatura nas superfícies da cavidade pode acabar resultando em peças com defeitos.

Na Tabela 2.1, são representados alguns defeitos, que podem estar vinculados à alta temperatura que o molde sustenta durante o processo de moldagem. Defeitos tais como: rebarbas e marcas na superfície da peça (efeito auréola no ponto de injeção, bolhas na superfície da peça, marca de extratores e marcas de rechupes externos).

Nessa situação, há necessidade de que a temperatura seja reduzida, de forma a não intervir na obtenção de produtos com qualidade, para tanto, há necessidade de serem trabalhados detalhes como: o aumento da vazão do fluido refrigerante, através da adoção de bombas; alterar as dimensões do canal refrigerante; incluir de insertos à base de materiais alternativos que propiciem uma boa condutividade térmica.

Tabela 2.3 – Exemplos de defeitos, que podem estar vinculados à alta temperatura no molde (Continua)

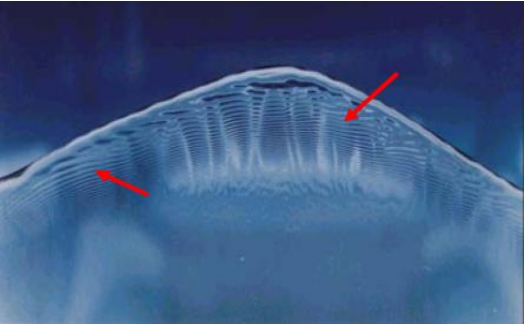
Defeitos	Nomenclatura - Observações
	<p><u>Rebarbas</u> – a moldagem apresenta excesso de material sob a forma de película fina nas linhas de fechamento do molde, nos canais de saída de gás e nos pontos onde se localizam os extratores.</p>

Tabela 2.3 – Exemplos de defeitos, que podem estar vinculados a alta temperatura no molde (Continuação)

	<p><u>Marca de fluxo, efeito “auréola”</u> – surge em forma de anéis concêntricos ao redor do ponto de injeção, que em muitas situações não são perceptíveis, observando-se apenas uma mancha.</p>
	<p><u>Marcas de bolha</u> – são como bolsões de ar que se formam no interior da peça moldada. Normalmente encontram-se nas peças espessas e estão associadas à contração não uniforme do material ao longo de sua espessura.</p>
	<p><u>Marcas de extratores na superfície</u> – são ressaltos que surgem no ponto de apoio do extrator sobre a peça. Esses pontos são originados em função da peça não estar na temperatura adequada para extração.</p>
	<p><u>Marcas de rechupe externo</u> – são depressões que surgem principalmente junto às nervuras. Nesses pontos existe o acúmulo de material que, devido à contração excessiva e não uniforme ao longo da sua espessura, forma o rechupe.</p>

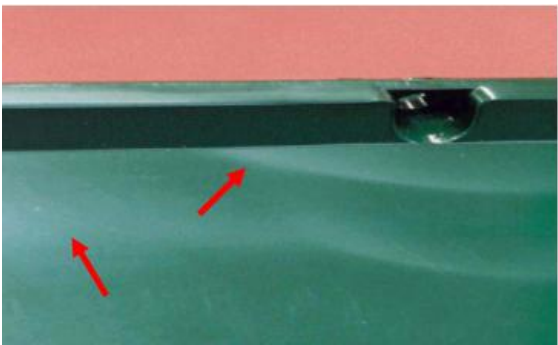
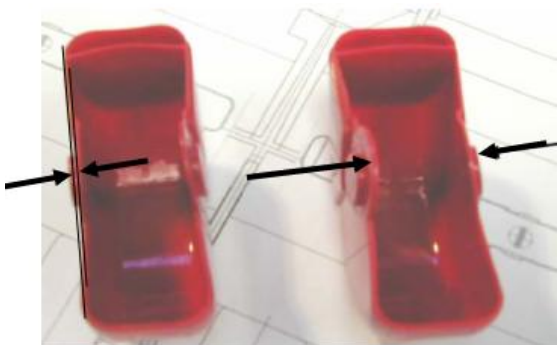

Na Tabela 2.4, são identificados exemplos de defeitos que podem ser provenientes da baixa temperatura em que o molde pode se encontrar, originando defeitos tais como: marcas nas superfícies (efeito casca de laranja, efeito pelagem de tigre), moldagem incompleta, linhas de solda e delaminação do material. Esses defeitos podem ser solucionados através do aumento da temperatura do molde.

Tabela 2.4 – Exemplos de defeitos, que podem estar vinculados à baixa temperatura no molde

	<p><u>Marcas de Fluxo</u> efeito “<u>marcas de Tigre</u>” – são o aparecimento de linhas finas como ondas na superfície da peça moldada, semelhantes às linhas da pelagem de um tigre.</p>
	<p><u>Marcas de Fluxo</u> efeito “<u>casca de laranja</u>” ou <u>sulco de discos</u> - como os apresentados em um disco de vinil, trata-se de linhas finas como ondas na superfície da peça moldada e surgem normalmente próximas às entradas de injeção e prolongam-se pela peça.</p>
	<p><u>Moldagem incompleta</u> – não há o preenchimento completo da cavidade. Surge geralmente, próximo a regiões com detalhes finos e no lado oposto, ao ponto de injeção.</p>
	<p><u>Linhas de solda</u> – também conhecida por linhas de solda fria, são formadas quando da união de duas frentes de fluxo. As linhas podem ser visíveis e proporcionam fragilidade nas peças.</p>
	<p><u>Delaminação ou esfoliação</u> – apresentam-se quando duas camadas de material não aderem de uma forma homogênea, o que leva ao efeito de esfoliação.</p>

Na Tabela 2.5 são apresentados defeitos tais como: manchas na peça, brilho não uniforme, contrações excessivas e empenamentos causados, podendo estar vinculados ao sistema de refrigeração inadequado para o molde, originando oscilações de temperatura (elevadas ou mesmo baixa). Especificamente nos exemplos de defeitos citados na sequência do estudo, não é possível, empregar soluções imediatas, através de regulagens de processo, pois o projeto do sistema/arquitetura, aplicado no molde para efetuar a troca de calor é totalmente inadequado, restando como alternativa o re-trabalho, ou seja, refazer todo o processo desde o desenvolvimento e projeto do sistema de refrigeração até a sua confecção.

Tabela 2.5 – Exemplos de defeitos, que podem estar vinculados ao sistema de refrigeração inadequado para o molde

	<p><u>Brilho insatisfatório</u> – pode ser causado pela alta diferença de temperatura em determinadas regiões na superfície da cavidade, ou mesmo pela inserção de barras refletoras de calor, que ficam em contato com o produto moldado.</p>
	<p><u>Contração excessiva</u> – o defeito pode ser atribuído ao desequilíbrio do sistema de refrigeração, em função da má localização e do dimensionamento dos mesmos.</p>
	<p><u>Empenamentos ou distorções</u> – também podem ser causados pelo desequilíbrio existente em um sistema de refrigeração, causado pelo dimensionamento incorreto do sistema de refrigeração ou mesmo pela sua má distribuição.</p>

2.4 Considerações referentes ao capítulo

Durante o desenvolvimento deste capítulo, exploraram-se os aspectos gerais referentes: ao panorama da produção de moldes de injeção para a fabricação de produtos à base de

materiais poliméricos; ao processo de injeção; à classificação dos tipos de moldes de injeção e aos sistemas de refrigeração empregados no projeto da ferramenta.

Os estudos e análises desenvolvidos neste capítulo tiveram como objetivo levantar subsídios suficientes que fundamentassem a proposta de uma sistemática destinada ao projeto do sistema de refrigeração aplicados aos moldes de injeção.

Portanto, analisando-se o panorama referente à produção de moldes para a injeção de produtos à base de materiais poliméricos, registra-se significativo crescimento, seja em consequência da substituição dos tradicionais processos produtivos ou pela expansão da demanda de materiais poliméricos na substituição a outros materiais. Fato também verificado junto ao mercado nacional, onde as empresas envolvidas na produção dessas ferramentas necessitam aprimorar suas técnicas de projeto e processos produtivos, para se manterem competitivas no mercado em franca ascensão e cada vez mais disputado.

O estudo do molde de injeção se fez necessário, pois os sistemas e componentes do molde interferem diretamente no projeto do sistema de refrigeração. De acordo com as bibliografias estudadas, o molde de injeção apresenta sua configuração de acordo com certas afinidades estabelecidas, seja em função: de norma técnica; do princípio funcional ou mesmo de sistemas funcionais.

Evidencia-se no estudo que a eficiência do molde de injeção e o processo de produção encontram-se ligados diretamente aos sistemas que o compõem, sendo o de refrigeração um deles, fato que auxilia a justificar o objetivo proposto neste estudo. Propor uma sistemática para nortear as atividades envolvidas no processo de projeto do sistema de refrigeração, de forma ordenada e integrando as fontes de informações, com as respectivas fases de projeto. Possibilitando, dessa forma, desenvolver soluções que atendam às necessidades do cliente, quanto ao tempo de ciclo e à qualidade do produto injetado.

Quanto ao sistema de refrigeração em si, verifica-se que, além de ser responsável por grande parte do tempo que envolve o ciclo produtivo, também pode ser responsável pelos defeitos encontrados no produto injetado, sejam relacionados ao dimensional ou ao acabamento superficial do produto.

Para que o sistema de refrigeração se apresente de forma eficiente durante o processo de produção, é necessário que, durante a atividade de projeto do referido sistema, considerem-se os materiais empregados na construção do molde, o posicionamento dos circuitos de refrigeração e o projeto da peça moldada.

Ainda referente à refrigeração do molde, verifica-se a existência de uma variedade de sistemas/arquiteturas. Condição favorável à escolha e determinação de um ou mais tipos, de forma a atender às necessidades do processo de produção.

A adoção de sistemas/arquiteturas adequados às necessidades do processo (refrigeração do molde) reflete-se diretamente nas condições de processo, como o fluxo do material no interior do molde, por exemplo. Um sistema de refrigeração dito como adequado, proporciona o aumento da produtividade, consequentemente propicia a redução do tempo

do ciclo de injeção, a eliminação de defeitos aparentes e a manutenção das propriedades do componente injetado.

Quanto ao projeto, o molde de injeção apresenta um forte grau de interação entre a complexidade inerentes ao produto e aos sistemas que compõem a ferramenta, além do que as empresas envolvidas nessa atividade sofrem com as exigências e pressões de um ambiente altamente competitivo.

Tais fatos levaram alguns autores a estudarem e proporem metodologias e procedimentos sistematizados que permitam o desenvolvimento da atividade projeto do molde de injeção, de forma a atender as necessidades do processo a que se destina. Essas proposições são apresentadas e discutidas no próximo capítulo.

CAPÍTULO 3

ASPECTOS GERAIS REFERENTES AO PROJETO DE PRODUTOS E AO PROJETO DE MOLDES DE INJEÇÃO

Neste capítulo são abordados os temas referentes ao processo de desenvolvimento de produtos (PDP), ao processo de desenvolvimento de produtos à base de polímeros, metodologia de projetos adotadas ao projeto de moldes de injeção e os conteúdos abordados no projeto do sistema de refrigeração empregados nos moldes para injeção de polímeros, foco de estudos desta dissertação.

3.1 Introdução ao processo de desenvolvimento de produto (PDP)

Diante de um mercado globalizado, que se apresenta cada vez mais competitivo e dinâmico, a vantagem competitiva de uma empresa de base tecnológica encontra-se diretamente relacionada a sua capacidade de se adequarem às mudanças oriundas da atividade de pesquisa e desenvolvimento de produtos, de forma a garantir produtos atualizados tecnologicamente, com características de desempenho, custo e prazos de distribuição condizentes com o nível de exigência do mercado de consumo.

Conforme Baxter (1998), Peixoto (1999) e Amaral (2001), o processo de desenvolvimento de produtos, apresenta grande influência na capacidade de uma organização responder de forma satisfatória às exigências que lhe são impostas pelo mercado, para tanto, se faz necessário que as organizações apresentem um constante aperfeiçoamento nas atividades relacionadas ao desenvolvimento de produto.

Para Forcellini (2004), a globalização da economia fortalece a necessidade da atividade de projetos de produtos, fato que impulsiona a busca por conhecimentos e metodologias sistematizadas, que permitam melhorar a qualidade do produto e reduzir o tempo do ciclo de desenvolvimento do mesmo.

De acordo com Fiod Neto (1993), uma organização, para manter-se competitiva, não pode atuar no desenvolvimento de produtos de forma, intuitiva, empírica ou mesmo por tentativa e erro, mas deve apoiar-se em metodologias e métodos sistêmicos, que apresentam embasamento científico, considerando-se a complexidade envolvida no processo.

Antes mesmo de apresentar algumas metodologias e métodos adotados no processo de desenvolvimento de projeto de um produto, é necessário que fique claro o conceito que envolve o termo “processo de desenvolvimento de produtos”. São inúmeros os autores que buscaram apresentar um conceito para o tema, entre eles destacam-se: Back (1983); Valeriano (1998); Ogliari (1999); Romano (2003); Forcellini (2004); Pahl & Beitz (2005) e Rozenfeld et al (2006).

Respeitando as particularidades apresentadas em cada um dos conceitos estudados, pode-se concluir que: o processo de desenvolvimento de produtos é um conjunto de

atividades e procedimentos (metodologias), que envolvem conhecimentos científicos e tecnológicos, necessários na obtenção e conversão das informações de mercado em requisitos de projeto, levando-se conseqüentemente ao processo de obtenção de um produto comercial (bens ou serviços).

Diante do contexto apresentado e considerando-se a existência de inúmeras propostas de metodologias empregadas no processo de desenvolvimento de produtos, são desenvolvidos três estudos, um deles abordado por Ogliari (1999); outro por Romano (2003); e um último por Rozenfeld et al (2006).

- **Ogliari (1999)**, realizou uma análise comparativa entre as abordagens consideradas clássicas, envolvendo os modelos de metodologias de projetos de produtos propostos por Back (1983), Ullman (1992), Pahl & Beitz (1996) e Hubka & Eder (1996). Ainda sob o enfoque da análise, o autor identifica a existência de diferenças entre as metodologias propostas e que se dão na terminologia empregada e no detalhamento dos processos, no mais uma similaridade entre as propostas. Diante do exposto, o autor estabeleceu um modelo de consenso conforme se apresenta na Figura 3.1.

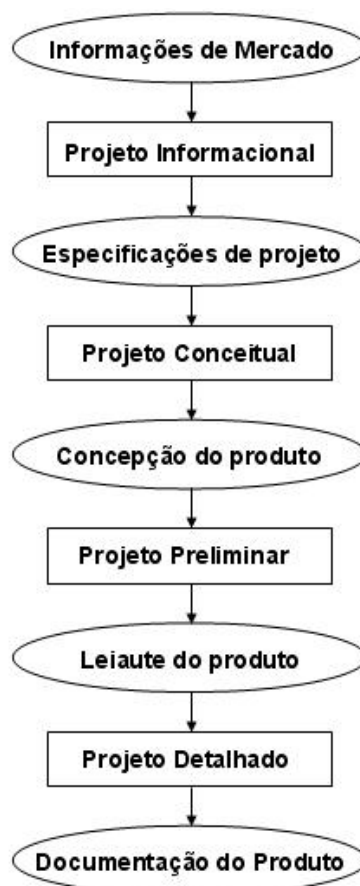


Figura 3.1 – Modelo de consenso proposto por Ogliari (1999)

Em síntese, o projeto de um produto tem início com o levantamento das informações junto ao mercado, na sequência, desenvolvem-se as fases com os respectivos resultados, iniciando-se com projeto informacional (especificações de projeto), conceitual (concepção do

produto), preliminar (leiaute do produto) e por fim o detalhado, com as documentações geradas, possibilitando a caracterização detalhada de cada etapa desenvolvida.

• **Romano (2003)** considera incompletos os modelos aplicados ao processo de desenvolvimento de produtos, quando consideradas somente as seis fases identificadas pelo autor, onde quatro delas referem-se ao projeto (informacional, conceitual, preliminar e detalhado) e duas fases com a preparação da produção e do lançamento do produto.

Portanto, para o desenvolvimento da sua proposta, o autor trabalhou sob a ótica de gerenciamento de projetos, onde são considerados: o planejamento, a execução, o controle e o encerramento da atividade. Diante desse contexto, o autor buscou subsídios nos conteúdos apresentados por Valeriano (1998); *Project Management Institute* (2000); Verzuh (2000); Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR – ISO 10006 (2006), para tornar o processo de desenvolvimento mais completo quanto possível, fatos que o levaram a inserir em sua proposta mais duas fases, a de planejamento e a de validação ou encerramento do processo.

O modelo desenvolvido e proposto por Romano divide-se em três macrofases que, por sua vez, se subdividem em oito fases distintas, conforme pode ser observado na Figura 3.2. Quanto às macrofases, são caracterizadas pelo planejamento (produto), pelas etapas de projeção (projeto informacional, conceitual, preliminar e detalhado) e pela implementação do produto (preparação da produção, lançamento e validação).

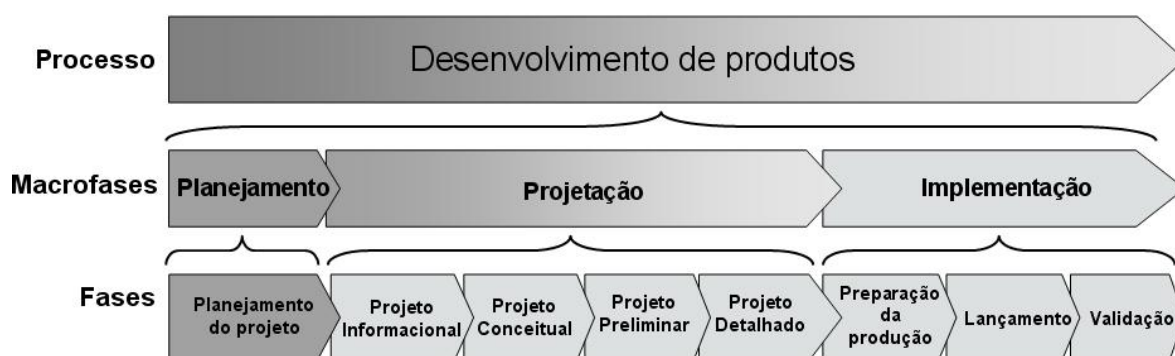


Figura 3.2 – Modelo de referência proposto por Romano (2003)

• **Rozenfeld et al (2006)** o modelo apresentado pelos autores, apresenta algumas peculiaridades relacionadas ao desenvolvimento de bens de capital e de consumo duráveis, voltados principalmente para empresas com ênfase em tecnologia mecânica. Sua concepção apresenta-se de forma genérica, fato a ser considerado, pois possibilita, através de pequenas adaptações, a adequação do modelo ao desenvolvimento de qualquer outro tipo de produto. Na Figura 3.3 pode ser observada a representação gráfica do modelo proposto, que se encontra estruturado em macrofases, fases, atividades e tarefas, além de que considera os processos de apoio relevantes.



Figura 3.3 – Modelo de referência proposto por Rozenfeld et al (2006)

De acordo com a proposta, o processo de desenvolvimento encontra-se dividido em três macrofases que interagem com suas respectivas fases. Compõem as macrofases o: pré-desenvolvimento; desenvolvimento e pós-desenvolvimento. Segundo os autores, estas macrofases, quando relacionadas ao pré-desenvolvimento e o pós-desenvolvimento são genéricas, podendo assim ser adaptadas, de forma a serem empregadas em outros tipos de empresas.

Quando a macrofase, que se refere ao desenvolvimento, nesta são enfatizados os aspectos tecnológicos relacionados á definição do produto em si, suas características e formas de produção. Neste contexto encontram-se envolvidos o: planejamento do projeto; projeto informacional; conceitual; detalhado; preparação da produção e lançamento do produto.

No modelo proposto, verifica-se que as fases encontram-se dispostas de forma sequencial, mas, na realidade, podem estar sobrepostas, ou seja, sendo desenvolvidas em paralelo. As fases identificadas no modelo são definidas em função da entrega dos resultados obtidos na tarefa desenvolvida, ao final de cada fase é realizada uma revisão (*gate*), o qual permite tomar a decisão de dar continuidade ao processo, passando a uma nova fase, até a conclusão efetiva do desenvolvimento do produto.

Contextualizado o tema “processo de desenvolvimento de produtos”, verifica-se, nas abordagens realizadas, a existência de uma similaridade entre as mesmas, considerando-se que algumas apresentam-se de forma superficial (genéricas) e outras mais detalhadas (específicas), podendo ser aplicadas para a obtenção de um produto proveniente de materiais poliméricos.

3.2 Desenvolvimento de produtos empregando-se materiais poliméricos

A crescente aplicação de materiais poliméricos, nos mais variados segmentos da sociedade, como o de: brinquedos; embalagens; eletrônicos; automobilismo; aeronáutica e

medicina, encontra-se intrinsecamente relacionado ao número de requisitos que o produto possa atender, considerando-se que tais requisitos possibilitam a substituição de materiais como o aço, alumínio e madeira, seja quanto ao desempenho funcional, ou mesmo, relacionado à sua estética.

De acordo com Ferreira (1999), num cenário de desenvolvimento de produtos fabricados à base de materiais poliméricos, onde cada especialista envolvido contribui com informações de acordo com sua área de conhecimento, faz-se necessária a adoção de metodologias de projetos que considerem, de forma integrada, os conhecimentos envolvidos na atividade, seja esse conhecimento em: produtos; processo; ferramenta (molde de injeção) ou em materiais empregados na concepção do produto.

Corroborando Daré (2001), quando defende a adequação das metodologias intituladas genéricas, em metodologias específicas para serem aplicadas ao projeto de componentes injetados em materiais poliméricos, pois considera que o projeto desses componentes deva ser tratado de forma particular, embora possam ser utilizadas muitas das recomendações e ferramentas propostas pelas metodologias genéricas.

Para Ferreira (2002), as fases e as etapas que envolvem a atividade de desenvolvimento de componentes fabricados à base de polímeros é caracterizada por ser uma atividade fragmentada (pela natureza da organização das empresas envolvidas na atividade), multidisciplinar (considera informações provenientes de distintos campos de conhecimento) e interdisciplinar (envolve a inter-relação de informações relativas a esses campos de conhecimento).

Costa et al (1999) divide um ciclo produtivo de peças plásticas injetadas em quatro etapas: projeto da peça plástica, projeto do molde de injeção, fabricação do molde e fabricação (injeção) do componente plástico. De acordo com o mesmo autor, tais etapas necessariamente não são desenvolvidas dentro de uma mesma empresa e sim por empresas diferentes, que apresentam objetivos específicos.

Na atividade de desenvolvimento do projeto de componentes injetados à base de materiais poliméricos, são vários os pesquisadores envolvidos, dentre os que sugeriram um modelo ou uma sistemática abordados no trabalho citam-se: Ogliari, (1999); Malloy, (2000), Daré, (2001) e Ferreira, (2006).

Os estudos apresentados por esses pesquisadores buscam a eficiência e efetividade do processo de desenvolvimento de produtos, alavancando a necessidade de que as metodologias apresentem-se de forma estruturadas e ordenadas sistematicamente, em função das etapas envolvidas no processo serem caracterizadas como uma atividade fragmentada, multidisciplinar e interdisciplinar.

- **Ogliari (1999)** apresentou em seu estudo um ciclo de vida para produtos injetados (Figura 3.4). De acordo com o autor, um produto plástico tem sua existência declarada a partir de estímulos oriundos do ambiente em que se encontra, seja em função do mercado

consumidor, das indústrias de matéria-prima, dos fabricantes de ferramentas ou mesmo das indústrias produzem peças oriundas de materiais poliméricos.

O fim do ciclo de vida do produto se dá através da desativação do mesmo, que pode ser realizado de diversas formas: lixo, sucata, partes reaproveitadas ou recicladas, considerando-se que essas saídas podem ou não gerar um novo estímulo às pessoas do ambiente.

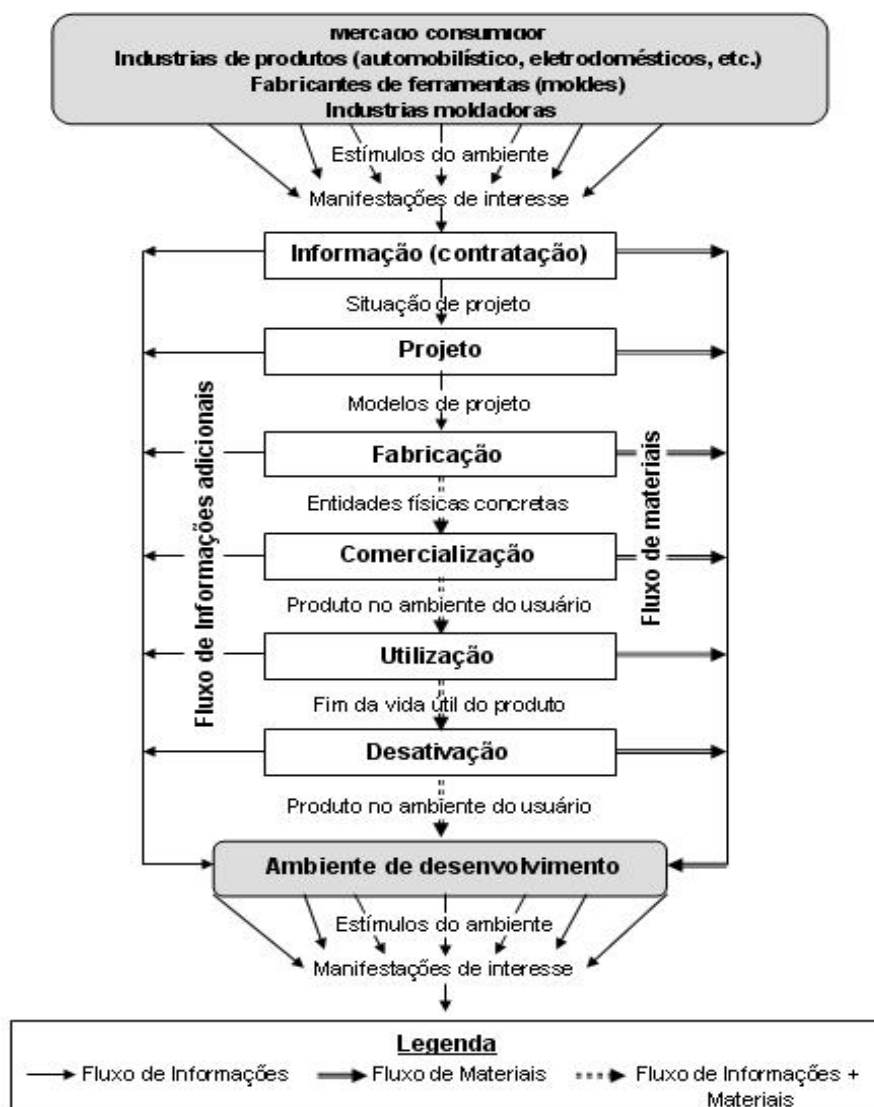


Figura 3.4 – Ciclo de vida para produtos plásticos injetados (OGLIARI, 1999)

Ainda nesse estudo, o autor propõe a implementação de ferramentas computacionais simples e dedicadas, sob uma plataforma denominada SACPRO (Sistema de Auxílio à Concepção de Produtos), empregada na atividade de desenvolvimento de produtos obtidos pelo processo de injeção de materiais poliméricos.

A implementação da proposta no apoio à concepção do produto, visa dar sustentação e apoio ao processo criativo e à tomada de decisão diante dos problemas que se apresentam nas fases iniciais de desenvolvimento do produto injetado, possibilitando melhor definir e

caracterizar as necessidades de projeto, desde o início, com a identificação das necessidades até a avaliação das soluções geradas para o produto na forma conceitual.

As ferramentas sob a plataforma proposta possibilitam a investigação às diferentes implicações relacionadas ao ciclo de vida, a funcionalidade e as alternativas conceituais do produto, além de proporcionarem a obtenção de soluções melhoradas ou mesmo inovadoras.

O autor também descreve uma série de propostas, que visam à utilização de elementos computacionais sistêmicos de projeto, sobre o enfoque da engenharia simultânea através da aplicação de sistemas especialistas.

- **Malloy (2000)** propôs em seu estudo uma metodologia para o processo de projeto de produtos injetados à base de materiais poliméricos, conforme pode ser observado junto à Figura 3.5. Essa metodologia encontra-se fundamentada sob os aspectos e princípios dos conceitos que envolvem a engenharia simultânea.

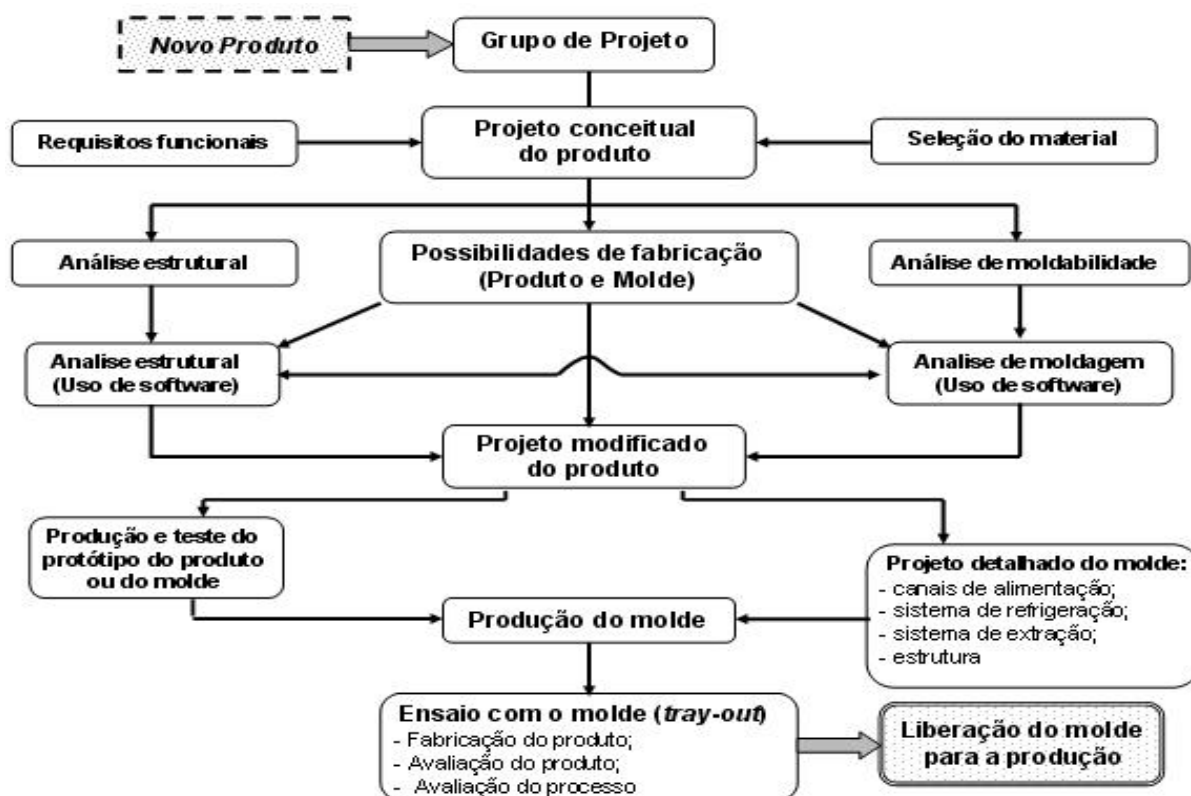


Figura 3.5 – Processo de projeto de produtos injetado em polímeros (MALLOY, 2000)

Em sua proposta, o autor demonstra que, através dos grupos de projetos, a atividade inicia com o projeto conceitual, sendo alimentado por informações referentes aos requisitos funcionais e à seleção do respectivo material do componente. Na sequência, é avaliada a possibilidade da fabricação da peça e do molde, se necessário, o componente pode ser alterado de forma a viabilizar sua fabricação e a do próprio ferramental.

Avaliado e projetado o produto, dá-se início à atividade do projeto detalhado do molde, considerando-se a possibilidade de ser realizado um protótipo para teste do molde ou mesmo do produto. Projetado o molde na seqüência dá-se início à atividade de fabricá-lo e testá-lo (*tray-out*), tanto no que se refere à avaliação do produto, quanto ao que se refere ao processo produtivo. O molde estando aprovado é liberado para a produção.

- **Daré (2001)** propõe um modelo que apresenta uma abordagem sob os aspectos da engenharia simultânea, integrando às atividades do processo de desenvolvimento de produtos. Para tanto, o autor definiu o ciclo de desenvolvimento de produtos à base de materiais poliméricos como sendo um conjunto de fases e etapas que inicia com a identificação da necessidade de projeto e conclui-se com a aprovação do lote piloto.

De acordo com autor, a estrutura sistemática que envolve o ciclo de desenvolvimento de produto injetado em polímeros encontra-se desdobrada em três fases: a primeira trata do projeto do componente, a segunda do projeto e fabricação do molde e a terceira do planejamento do processo de fabricação. Essas fases encontram-se divididas em etapas conforme pode ser observado na Figura 3.6.

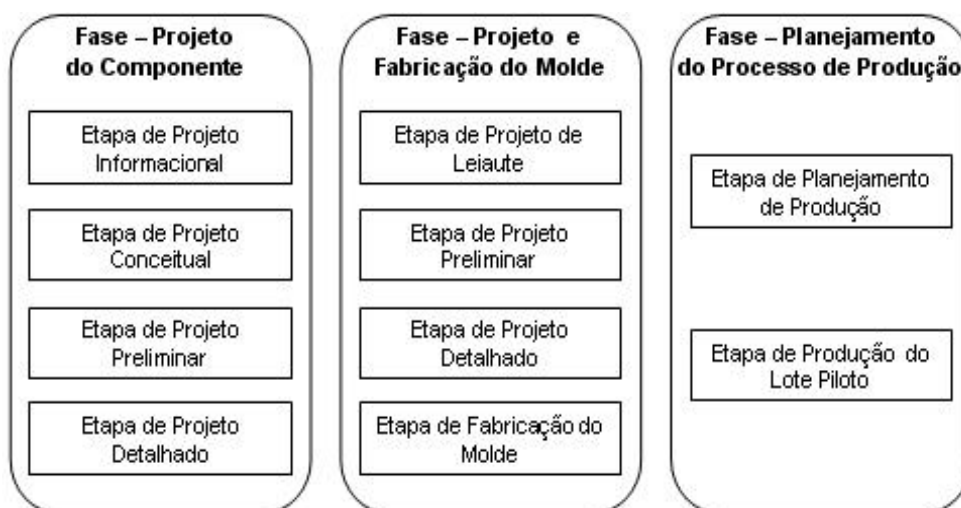


Figura 3.6 – Fases e etapas do processo de desenvolvimento de componentes injetado em polímeros (DARÉ, 2001)

Na Figura 3.7, encontra-se representada a estrutura da sistemática proposta. A estrutura considera as três fases e os elementos como informações, parâmetros e tarefas associados a cada uma das fases. Na intenção de facilitar o entendimento, o autor propôs a representação em forma de fluxograma, onde são apresentadas as informações de entrada envolvidas em cada etapa, as tarefas correspondentes, os documentos relacionados ao projeto e as respectivas saídas, referentes a cada tarefa da etapa como um todo.

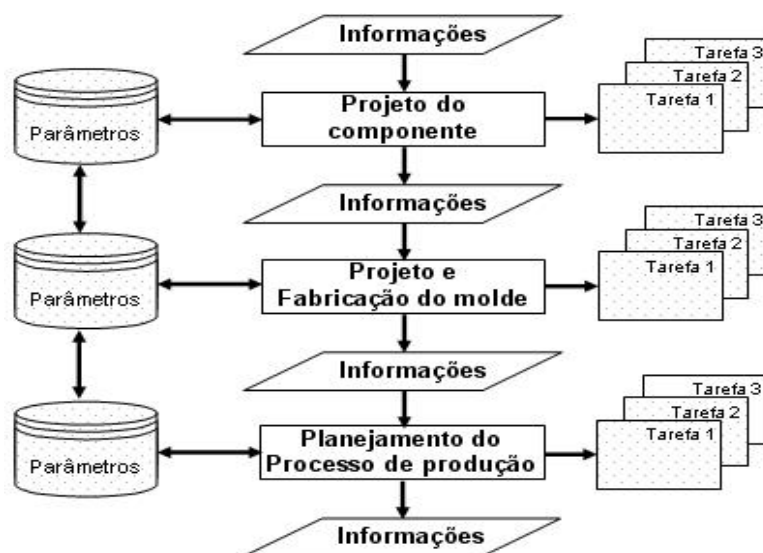


Figura 3.7 – Processo de desenvolvimento de produtos injetado em polímeros (DARÉ, 2001)

• **Ferreira (2006)** apresenta uma metodologia voltada ao desenvolvimento integrado de produtos de plásticos (Figura 3.8). Na metodologia, o autor orienta na obtenção das especificações referentes ao projeto, *design* e engenharia de produto, ao projeto e fabricação do molde e o produto transformado.

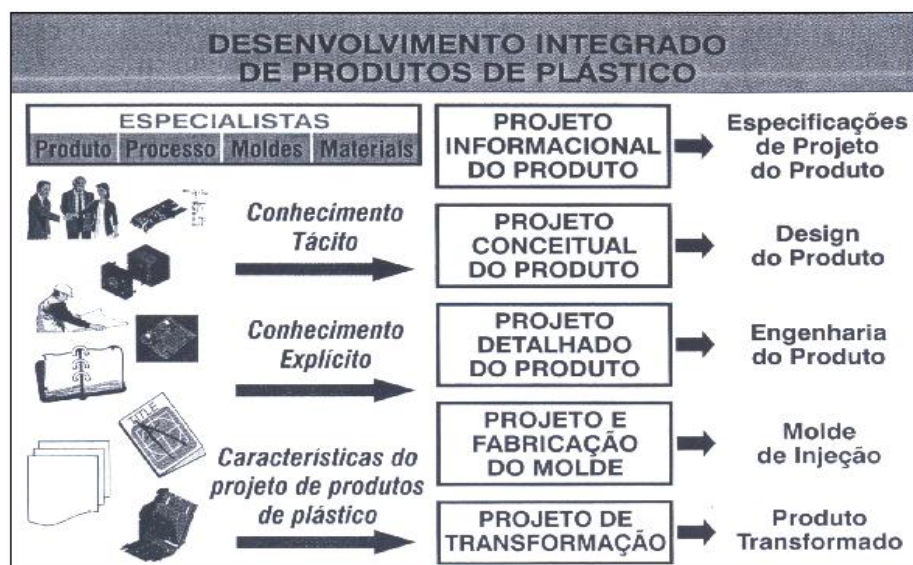


Figura 3.8 – Abordagem da metodologia integrada no desenvolvimento de produtos plásticos (FERREIRA, 2006)

Na proposta, o autor procurou estruturá-la dentro do contexto da engenharia simultânea, a qual considera questões como a multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade das informações provenientes de conhecimento tácitos e explícitos, conhecimentos obtidos junto a especialistas que se encontram envolvidos com o projeto do produto, o processo de fabricação, o material de injeção e os custos envolvidos.

Com a aplicação do modelo, o autor buscou atender às necessidades do cliente, relacionadas ao aspecto, às recomendações, às imposições, às limitações e às restrições

relacionadas aos campos de conhecimento. O modelo proposto envolve as fases do projeto informacional, conceitual e detalhado, conforme pode ser observado na Figura 3.8.

Ainda referente ao projeto de produtos obtidos pelo processo de injeção de materiais poliméricos, contribuíram com esse o estudo, os autores: Mascarenhas (2002); Sabino Neto (2003); Harada (2004); Catapan (2005); Canciglieri Jr. et al (2005).

- **Mascarenhas (2002)** propõe uma sistematização de forma a oferecer subsídios conceituais, buscando melhor definir os caminhos e diretrizes para a realização do processo de obtenção do leiaute dimensional de componentes injetados à base de polímeros. Para tanto, o autor desenvolveu uma análise nas propostas de metodologias para o projeto preliminar de sistemas e componente, criando uma síntese de modelos para obtenção do leiaute de peças plásticas. O autor salienta a importância de se conhecer as propriedades dos materiais plásticos, influenciadas diretamente pelos fatores ambientais ao qual o componente estará inserido.

- **Sabino Neto (2003)**- a proposta do autor refere-se à introdução de uma sistemática que permita avaliar as soluções de projeto auxiliadas por protótipos físicos, enfatizando-se o processo de prototipagem rápida. O processo de avaliação foi estruturado em cinco etapas, que contempla a identificação dos testes e os parâmetros de avaliação, o planejamento do teste, a confecção do protótipo do produto, a preparação e execução dos testes e, por final, a análise dos resultados obtidos.

- **Harada (2004)** - sugere algumas orientações para a obtenção do projeto de um produto, que apresente um bom desempenho na atividade a que se destina. Para tanto, é necessária uma análise de fatores tais como: a forma do produto, considerando-se a possibilidade de moldagem; o material empregado; o dimensionamento do produto quanto a sua compatibilidade com as exigências requeridas; o processo de moldagem se é adequado permitindo dar forma ao produto; o tipo de molde em função das características do produto e o custo de produção.

- **Catapan et al (2005)** - demonstram a importância e as contribuições da abordagem de DFMA (*Design for Manufacturing and Assembly*), aplicada ao projeto de peças obtidas, a partir de materiais poliméricos através do processo de injeção e como a utilização dos recursos desta técnica auxilia durante o processo de projeto integrado do produto. Segundo os preceitos propostos pela engenharia simultânea, de forma a minimizar a possibilidade de retrabalhos ou reprojeto do produto final.

- **Canciglieri Jr. et al (2005)** - propõem uma metodologia para a obtenção, definição e combinação dos processos envolvidos na fabricação, seja em função do produto a ser injetado, do processo ou do ferramental. A proposta consiste na aplicação de conceitos e compartilhamento de dados entre as distintas fases envolvidas no projeto e na manufatura. Para tanto, faz-se necessário o armazenamento das informações em uma estrutura de banco de dados (software). Esse banco de dados pode conter um número limitado de elementos, os quais carregam informações relativas ao processo de fabricação, ao projeto do produto e do molde.

Apresentadas algumas metodologias, procedimentos e recomendações para o desenvolvimento do projeto de produtos obtidos pelo processo de injeção de materiais poliméricos, verificou-se que o projeto do molde de injeção encontra-se inserido como parte desta atividade.

Na análise realizada, percebe-se que foram feitas algumas considerações referentes à importância do ferramental (molde) no processo produtivo, para a obtenção de produtos com qualidade e com custos de produção reduzidos. Verificou-se também que esses autores não detalharam em suas propostas as atividades envolvidas no projeto do molde a ponto de permitir o projeto do mesmo.

Dada a importância do assunto, na sequência do estudo, serão abordadas algumas metodologias, sistemáticas, procedimentos e sugestões que servem de orientação ao processo de projeto do molde.

3.3 Molde de injeção, um produto a ser desenvolvido

O molde para injeção de polímeros, seja em função do crescente aumento na complexidade geométrica dos produtos, onde são considerados fatores estéticos e funcionais, seja pelo simples fato da necessidade de acompanhar as novas tecnologias vigentes relacionadas ao material a ser injetado ou ao processo produtivo envolvido, tem se apresentado como um dos elementos fundamentais na obtenção de produtos com qualidade.

Para Salvador (2007), os moldes de injeção constituem um tipo de produto com especificações, restrições e funções definidas, que contemplam uma grande carga tecnológica. Seja em função do produto ou do processo envolvido, para o qual as indústrias, cada vez mais exigem prazos reduzidos, de forma a atender a necessidade de agilizar o lançamento de novos produtos à base de materiais poliméricos.

Para desenvolvê-lo, de acordo com Harada (2006), faz-se necessário contar com a habilidade e conhecimentos de especialistas, onde: a habilidade em reunir todas as informações necessárias ao projeto do molde e os conhecimentos representados através de informações provenientes de regras, estratégias, recomendações e princípios de solução, apresentam influência direta nas características, na qualidade e nas propriedades da peça moldada.

Diante do exposto, verifica-se que a atividade de desenvolvimento do ferramental (molde de injeção) com base em metodologias ou processos sistemáticos, vem adquirindo reconhecimento como instrumento estratégico para a manutenção da empresa, diante de um mercado integrado, globalizado e competitivo.

Nesse contexto, encontram-se inseridas as propostas abordadas por pesquisadores como: Sacchelli (2007); Salvador (2007); Harada (2006); Costa et al (2004); Tonolli (2003), Daré (2001), Rees (1995), Menges (1993), que sugerem metodologias ou formas de trabalho específicas, em relação às metodologias genéricas abordadas no item 3.1 deste capítulo, quando se referem aos projetos de moldes. Essas metodologias ou formas de trabalho apresentam-se com o objetivo de nortear as ações dos especialistas durante a atividade de projeto do molde.

Na sequência do estudo, são apresentadas algumas dessas propostas:

- **Sacchelli (2007)** propõe um processo sistematizado para o desenvolvimento integrado de moldes para injeção de termoplásticos. Quanto à estrutura da proposta, encontra-se relacionada às etapas envolvidas durante o projeto do molde que envolve o projeto informacional, o conceitual, preliminar e o detalhado conforme pode ser observado na Figura 3.9.

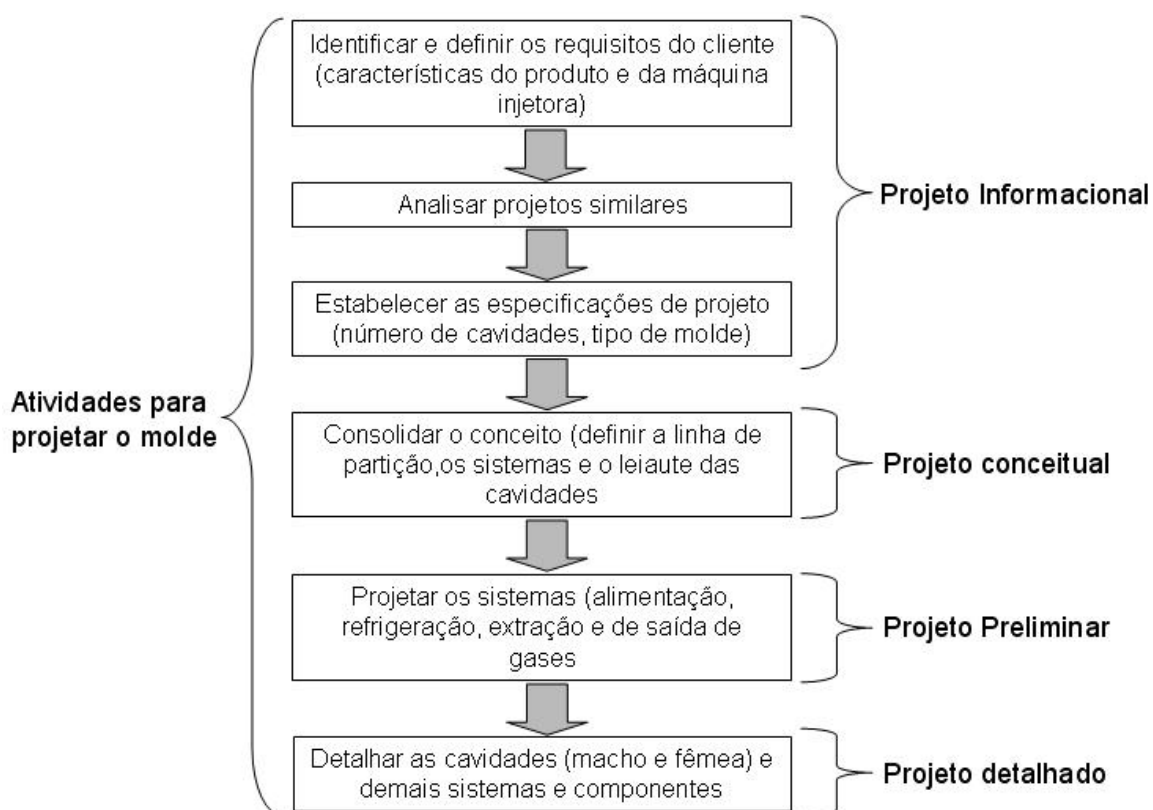


Figura 3.9 – Fluxo das atividades relacionadas com o projeto do mole
(Adaptado de SACCHELLI, 2007)

No estudo, o autor também buscou relacionar os elementos de metodologia e de gerenciamento de projetos com as propostas pela engenharia simultânea, com o objetivo de orientar e esclarecer em detalhes, quais são as atividades necessárias, quando e por quem

devem ser realizadas.

Na proposta são apresentadas em detalhes as informações necessárias referentes às melhores práticas; aos métodos e às ferramentas empregadas na referida atividade, de forma a diminuir possíveis alterações no decorrer do processo de desenvolvimento. Visando, dessa forma, à obtenção de moldes de injeção de qualidade, no tempo certo e com o custo adequado, tanto para o cliente, como para o fabricante do molde.

No modelo proposto, o autor ainda considera as fases de: contratação para desenvolvimento; planejamento do processo de desenvolvimento; projeto; fabricação e certificação do ferramental.

- **Harada (2006)**- Em seu estudo, o autor apresenta uma sequência para o fluxo de informações, conforme apresentado na Figura 3.10. O fluxo de informações tem início com a coleta de todas as informações referentes ao produto junto ao cliente, em paralelo ocorre a avaliação do produto e a determinação da máquina injetora, para, na sequência, serem desenvolvidas as demais atividades até se dar a construção do molde pela ferramentaria. No fluxo de trabalho apresentado, fica nítida a ordem das atividades a serem realizadas e a importância dos projetistas envolvidos em cada uma delas.

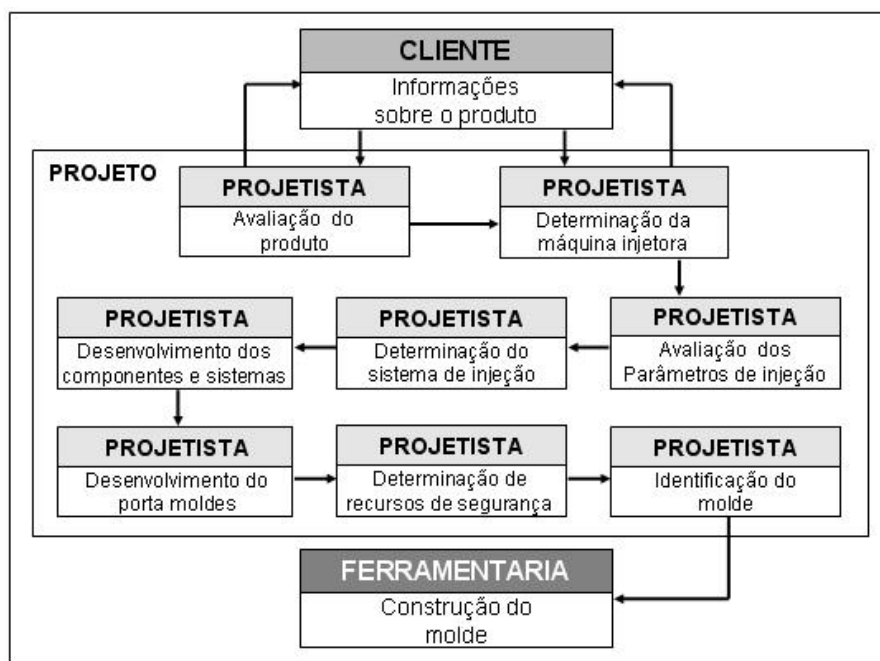


Figura 3.10 – Fluxo de trabalho para desenvolvimento de projeto (HARADA, 2006)

O autor também evidencia no estudo, que o bom desempenho de um molde de injeção seja em função da garantia da qualidade do produto moldado, ao processo produtivo ou em relação à manutenção do molde. Tal desempenho está diretamente associado ao cuidado com o qual os especialistas desenvolvem a atividade de projetar o molde, tanto no que se refere à concepção funcional, quanto na definição dos materiais e processos envolvidos.

• **Tonolli et al (2004)** afirmam que, durante a atividade de desenvolvimento do projeto do molde de injeção, as principais especificações são definidas pelo projetista, e as demais informações são fornecidas pelo cliente ou pela ferramentaria envolvida (indústria de fabricação de moldes). Na Tabela 3.1 é apresentada a síntese das informações específicas para o projeto do molde de injeção, bem como os responsáveis pelo processo e seu grau de interferência em cada informação prestada durante o desenvolvimento do projeto, onde são indicados: **xx** – para muita interferência; **x** – pouca interferência e **0** – para nenhuma interferência.

Tabela 3.1 – Demonstrativo das especificações para o desenvolvimento do molde e o nível de interferência sobre as mesmas

Requisitos/Especificações	Cliente	Ferramentaria	Projetos
1- Dados do Cliente	xx	0	0
2- Dados do componente injetado:			
2.1- Geometria	xx	x	x
2.2- Material	xx	0	0
2.3- Volume de produção	xx	0	0
3- Dados da injetora	xx	0	0
4- Dados do molde:			
4.1- Material	xx	x	x
4.2- Acabamento	xx	0	0
4.3- Sistema de troca rápida	xx	0	0
4.4- Gravações	xx	0	0
5- Fabricação do molde:			
5.1- Equipamentos	0	xx	x
5.2- Tratamentos Térmicos	x	xx	x
5.3- Tempo de fabricação	0	xx	0
6- Projeto do molde			
6.1- Custo do projeto	0	0	xx
6.2- Tempo de projeto	0	0	xx
6.3- Número de cavidades	xx	x	xx
6.4- Leiaute das cavidades	x	x	xx
6.5- Sistema de alimentação	x	x	xx
6.6- Leiaute do sistema de alimentação	0	x	xx
6.7- Sistema de extração	x	x	xx
6.8- Leiaute do sistema de extração	0	x	xx
6.9- Leiaute de refrigeração	0	x	xx
6.10- Gerenciamento do projeto	0	xx	x

Fonte: Tonolli (2003)

Conforme exposto no início desse capítulo, a ferramenta (molde de injeção) é um produto a ser desenvolvido, para tanto se faz necessário, levantar as especificações referentes ao molde, quanto ao: número de cavidades; tipo de estrutura da ferramenta; sistemas envolvidos (alimentação, refrigeração, extração), etc., e cada uma dessas especificações visa satisfazer funções básicas do molde, como a de alimentar o molde, refrigerar a cavidade, extrair a peça plástica, etc.

• **Costa et al (2004)** propõem um novo modelo de proposta, identificado como um modelo de produto variante. Os autores consideram que o bom desempenho do molde está diretamente ligado ao atendimento, às funções básicas apresentadas pela ferramenta durante o processo de injeção. Funções tais como, alimentar o molde, refrigerar a cavidade e extrair o produto, para cada uma das funções apresentadas, é necessário considerar as diferentes soluções existentes para os conjuntos ou sistemas que o compõem o mesmo.

A estrutura da proposta é definida em termos de funções e suas relações com as possíveis soluções de projeto, cujas interações encontram-se vinculadas às informações que foram armazenadas durante a atividade de projeto do produto, de forma a apoiar as decisões durante as fases iniciais de projeto do molde de injeção.

O relacionamento existente entre um grupo de funções com as respectivas soluções envolvidas durante a atividade de desenvolvimento de projeto do molde para injeção é apresentado na Figura 3.11. Verifica-se, na figura, que os autores identificam seis tipos de soluções envolvidas diretamente com as funções do molde de injeção, são elas: pontos de injeção; seção dos canais de alimentação (galhada); leiaute para alimentação, distribuição das cavidades (impressões); extração e refrigeração da cavidade.

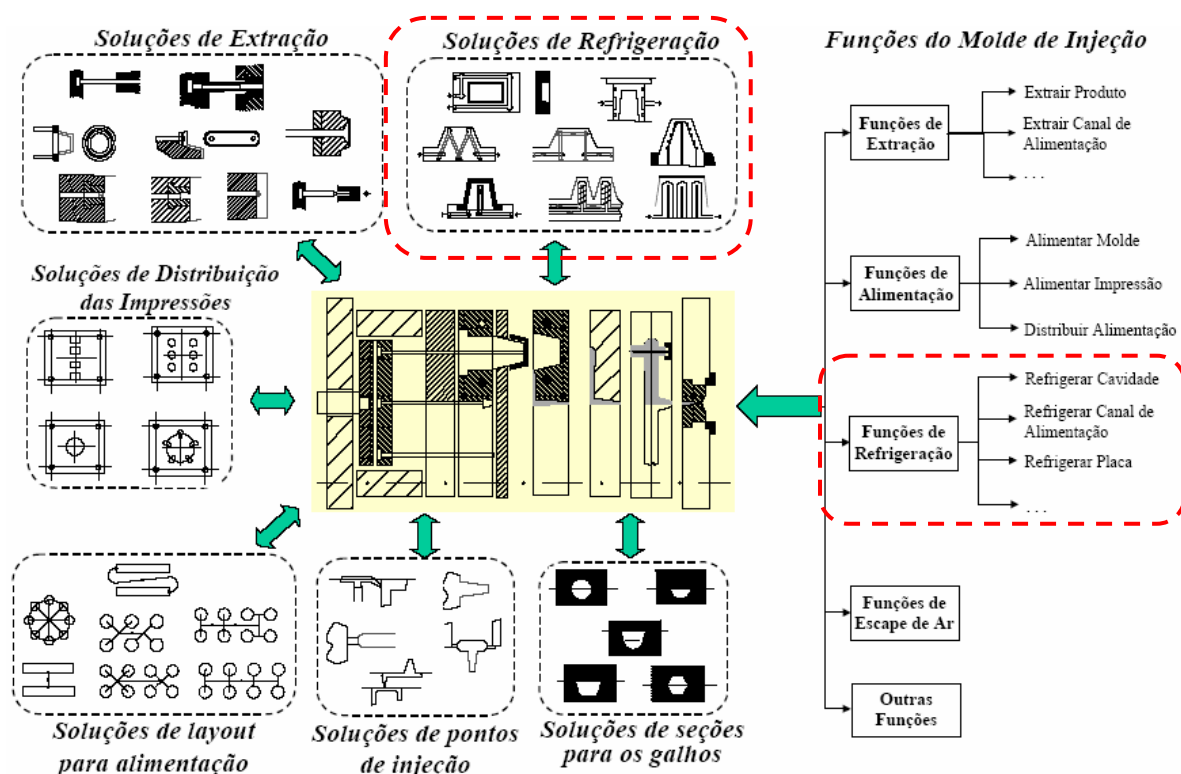


Figura 3.11 – Exemplo de funções e soluções para moldes de injeção (COSTA et al, 2004)

Ainda observando-se a figura, foram destacados com linhas tracejadas dois itens relacionados à atividade de projeto do sistema de refrigeração (tema relacionado a esta pesquisa): um deles representando as funções a que se destina a refrigeração do molde e o outro com exemplos de soluções de sistemas de refrigeração (detalhados no item 2.4.2 do

capítulo 2), possíveis de serem empregados no projeto do molde, de forma a atender às necessidades expostas na função de refrigerar.

- **Tonolli (2003)** divide a atividade de projetar um molde em dois grandes grupos (Figura 3.12): no primeiro apresenta-se o projeto preliminar, abordando um esboço da forma do molde, compreendendo a determinação do número e distribuição das cavidades, juntamente com a definição da linha de abertura do molde e do respectivo ponto de injeção, enquanto no segundo grupo aborda-se o projeto detalhado, onde se desenvolve o molde nos seus mínimos detalhes, quanto aos aspectos estruturais (sistema de refrigeração, alimentação e extração), já objetivando a fabricação do mesmo.

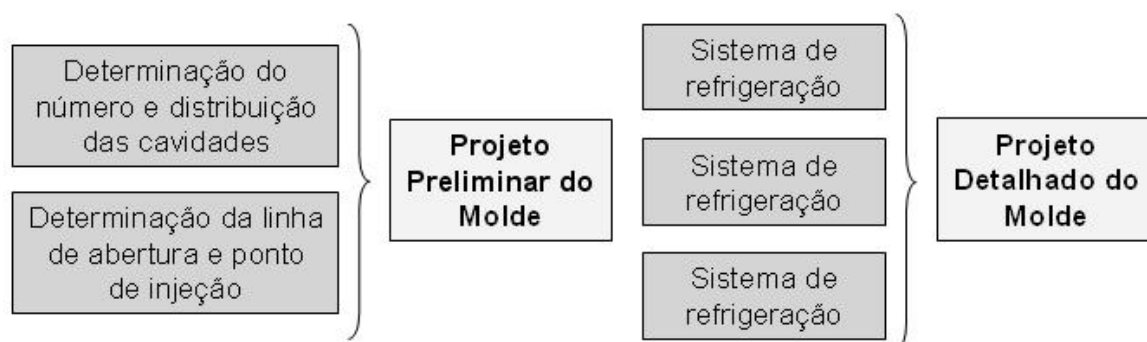


Figura 3.12 – Atividades do projeto para moldes de injeção de plásticos (TONOLLI, 2003)

De acordo com o autor, o molde pode ser dividido em seis sistemas considerados como essenciais ao bom desempenho do molde (Tabela 3.2), sendo que cada um dos sistemas encontra-se diretamente relacionado a uma função do molde.

Tabela 3.2 – Sistemas e funções para moldes de injeção de plástico

Funções do Molde de Injeção	Sistemas do Molde de Injeção
Dar forma e acabamento superficial ao componente moldado.	Cavidades e machos
Facilitar a saída de ar e gases do interior das cavidades.	Sistemas de ventilação
Prover o adequado fluxo de material a partir do bico da injetora até as cavidades do molde.	Sistema de alimentação
Extração dos componentes moldados após a injeção do material.	Sistema de extração
Controlar a temperatura do molde para resfriar o plástico até o estado regido para sua extração.	Sistema de refrigeração
Manter as cavidades e machos fixos e na posição correta	Placas do molde e sistemas de alinhamento
Cumprir os requisitos de produção de forma econômica e produzir componentes funcionais	Sistema cavidade/macho e configuração do molde

Fonte: Tonolli (2003)

- **Daré (2001)** apresenta, na sua proposta de modelo de referência, uma abordagem sob os aspectos da engenharia simultânea, de modo a torná-lo estruturado e fundamentado nas melhores práticas de gerenciamento, conforme exposto no item 3.1 deste capítulo. O autor propõe, em seu modelo, uma fase abordando o projeto e fabricação do molde de injeção, a qual fora dividida em quatro etapas (Figura 3.13), sendo elas: o projeto do leiaute das cavidades; o projeto preliminar; o projeto detalhado e a fabricação do molde. Para cada uma das etapas citadas foram apresentadas as tarefas correspondentes.

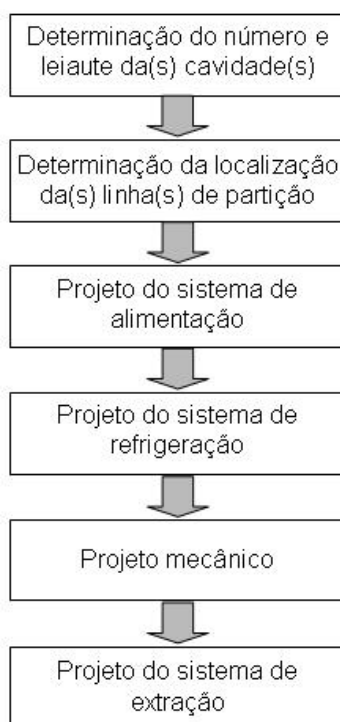


Figura 3.13 – Principais tarefas envolvidas no projeto do molde de injeção (DARÉ, 2001)

- **Menges (1993)** apresenta um diagrama com as principais tarefas (de forma sequencial) e a inter-relação existente entre as mesmas, durante a atividade de desenvolvimento do projeto de um molde para injeção de polímeros, conforme pode ser observado na Figura 3.14.

Analisando-se a figura, observa-se que as tarefas encontram-se diretamente vinculadas às características do molde (número e leiaute das cavidades, números de aberturas, dimensões das cavidades, etc.) e aos sistemas que o compõem (sistema de alimentação, sistema de refrigeração e sistemas de extração). Tal fato demonstra a importância da atividade de desenvolvimento do projeto do molde e a influência do mesmo sobre o processo de injeção de materiais poliméricos, consequentemente, sobre as características, qualidade, propriedades do produto injetado e sobre os custos envolvidos.

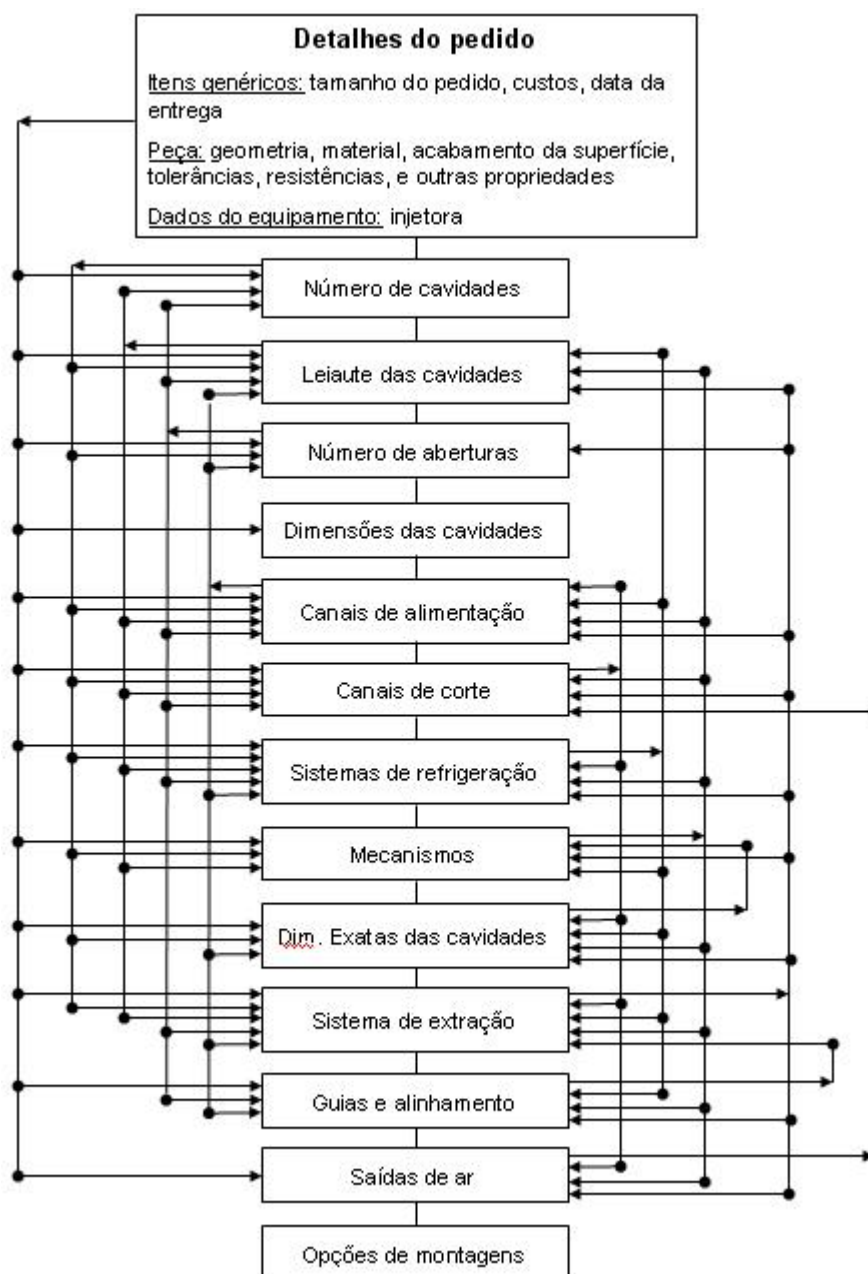


Figura 3.14 – Diagrama de relacionamento entre as diversas tarefas adotadas no desenvolvimento do projeto de moldes (MENGES, 1993)

Analisando-se as propostas estudadas de modelos ou sistemáticas empregadas para o desenvolvimento do projeto do molde de injeção, verifica-se que cada autor demanda uma importância diferenciada a cada uma das atividades apresentadas, mas as propostas contemplam de uma forma geral a necessidade de:

- Levantar e avaliar as especificações do produto e da máquina injetora;
- Determinar a linha de abertura do molde (linha de partição);
- Definir número e leiaute das cavidades;
- Projetar e dimensionar os sistemas de alimentação, extração e refrigeração;
- Dimensionar os demais componentes do molde de injeção.
- Avaliar os parâmetros de injeção do produto através da simulação reológica e térmica;

- Identificar o molde (dados pertinentes ao mesmo e ao processo);
- Determinar dos recursos de segurança aplicados ao molde, atividade muito solicitada pelos clientes, para evitar danos à ferramenta, equipamentos e acidentes junto aos operadores durante o processo.

Referente à atividade que envolve o projeto de moldes de injeção, ainda contribuíram com o estudo autores como: Cardon, (2008); Manrich (2005); Vallejos, (2005); Cunha (2004); Cruz (2002); Sors (1998); Glanvill (1980) e Provenza, (1976), que apontam considerações referentes ao processo de projeto do molde, mas não detalham uma metodologia ou sistemática para a atividade.

Durante análises realizadas nas propostas dos autores referenciados, verificou-se que abordam o projeto dos sistemas (alimentação, refrigeração e extração) que compõe o molde como uma tarefa do projeto do molde de injeção, mas essa abordagem não ocorre de forma detalhada.

Dada a importância do sistema de refrigeração, considerando-se a grande influência que exerce, tanto no processo de injeção, como nas características e propriedades do produto moldado, na sequência são apresentadas algumas referências que abordaram o projeto de refrigeração de um molde.

3.4 Projeto do sistema de refrigeração

O projeto do sistema de refrigeração de um molde visa diminuir o tempo que a peça leva para solidificar-se, tempo necessário para que a peça seja desmoldada. Além de que o sistema necessita minimizar a existência de diferentes taxas de resfriamento nas cavidades do molde, para não comprometer as suas características e a qualidade do produto moldado (MENGES, 1993).

Reforça Sacchelli (2004), a maioria desses sistemas são normalmente projetados, baseados em experiências anteriores, ou seja, com estimativas feitas pelo projetista, o que pode, ao final da atividade, desencadear menor eficiência no ciclo de injeção ou mesmo gerar retrabalhos em função do projeto inadequado do sistema de refrigeração.

Segundo análises técnicas conduzidas por Stitz et al (2002), em moldes de injeção, os canais de resfriamento costumam estar situados onde há espaço disponível para eles e não onde realmente são necessários.

De acordo com Steinko (1999), o correto dimensionamento e posicionamento dos canais de refrigeração devem ser entendidos como fatores de potencial diferenciação das indústrias do setor, pois através desta atividade podem ser oferecidos, moldes de injeção que atendam necessidades, tais como: redução no rejeito de produtos (defeitos aparentes e de estrutura), otimização de processo de moldagem (redução no ciclo de moldagem) entre outros, redução de custos com a manutenção do molde entre outros.

Nesse ambiente, a tarefa de projetar os moldes de injeção, não pode ficar baseada na unicamente na intuição ou dependente apenas de ensaios, deve estar fundamentada em

métodos sistêmicos, com sólido embasamento científico, para ter assegurado maiores possibilidades de sucesso.

No decorrer da última década, alguns pesquisadores como: Stitz et al (2002); Moritz et al (2003); Steinko (2004); Lafrata, (2004); Barros (2004); Carneiro (2006) e Borba (2006) corroboraram com o avanço das pesquisas que envolvem as atividades referentes ao projeto de sistemas de refrigeração aplicados aos moldes de injeção.

Esses estudos encontram-se voltados ao levantamento das práticas empregadas durante o projeto do sistema de refrigeração, ao desenvolvimento de programas para o modelamento do comportamento térmico transiente dos moldes para injeção de termoplásticos e em experimentos, onde se busca determinar que tipo de sistema/arquitetura é mais eficiente para o referido sistema de refrigeração, possibilitando apresentar um projeto de molde com melhor desempenho térmico durante o processo de moldagem. Tais propostas são apresentadas na sequência deste estudo.

- **Stitz et al (2002)** estudam e identificam modos e meios (sistemas) de resfriamento, mais eficientes empregados na refrigeração de um molde com menos de 5 mm de espessura de seção transversal. Entre as opções de sistemas de resfriamento de peças com seções muito pequenas, encontram-se disponíveis os canais de resfriamento miniaturizados, canais adaptados ao contorno da peça e os elementos resfriadores (pinos condutores de calor, tubos transferidores de calor, agulhas para resfriamento e tubos capilares). Na análise foi empregado um equipamento específico para se medir a eficiência do resfriamento e estudar o desempenho dos sistemas disponíveis empregados como sistemas de refrigeração, chegando-se à conclusão de que as agulhas empregadas no resfriamento apresentaram-se mais eficientes.

- **Moritz et al (2003)** os autores abordaram em seu estudo os diferentes modelos matemáticos (cálculos), empregados no dimensionamento dos canais de refrigeração do molde de injeção e verificaram a existência de divergências entre os conceitos apresentados pelos autores estudados. Fato que corroborou para a construção de um molde instrumental, com a intenção de verificar a autenticidade dos modelos propostos. Os dados apurados com os experimentos foram comparados com análises realizadas em software de *flow* (simulação em injeção). Os autores verificaram a dificuldade existente em se determinar o dimensionamento e a eficiência térmica do sistema de refrigeração através de cálculos em função dos diversos fatores envolvidos, fatores tais como: características do produto moldado, propriedades da matéria prima, propriedades do material empregado no molde, condições de produção entre outros.

- **Lafratta (2004)** avaliou a viabilidade da aplicação de um fluido refrigerante, temporariamente confinado em canais de refrigeração incorporados aos insertos fabricados

através do processo de estereolitografia. O confinamento temporário do fluido refrigerante tem como função a sustentação estrutural e o resfriamento do conjunto inserto/peça durante as fases de preenchimento da cavidade, recalque e resfriamento do processo de moldagem por injeção de termoplástico seguido por sua liberação. O estudo, através de simulações empregando-se um modelo matemático elaborado, apresentou resultados práticos que demonstram a possibilidade desse princípio ser empregado na obtenção de insertos em estereolitografia, aplicados na produção de protótipos pelo processo de moldagem por injeção de termoplásticos. A aplicação do processo de confinamento do fluido de resfriamento exige uma automação do controle de fluxo do sistema de refrigeração, podendo ser um complicador na implementação mais ampla do processo. Quanto à monitoração da temperatura, apresentou-se de grande valia e recomenda-se o seu emprego, inclusive para insertos sem canais incorporados.

- **Steinko (2004)** apresenta um estudo direcionado à aplicação da técnica da tomografia por raios infravermelhos na avaliação do projeto térmico do molde, essa avaliação é realizada através de medições diretamente na peça moldada por injeção, medições que permitem a visualização e a caracterização de gradientes de temperatura bem como o monitoramento da evolução do seu resfriamento. Através dessa técnica, é possível definir cuidadosamente o sistema de controle de temperatura do ferramental, permitindo a redução dos tempos de ciclo de injeção e a ocorrência de defeitos aparentes nas peças (ver capítulo 2.4.5). Contudo, essa avaliação só pode ser realizada após a concretização da confecção do molde e sua aplicação no setor produtivo, fato que pode levar a conclusões como a ineficiência no projeto do sistema de refrigeração causando evoluções de temperaturas heterogenia no interior do molde. Essa temperatura heterogênea pode aumentar consideravelmente o ciclo de injeção e a ocorrência de defeitos aparentes na peça, obrigando ao retrabalho desde a fase do projeto até a concepção do molde ou mesmo a inutilização do mesmo.

- **Barros (2004)** desenvolveu um programa para modelar o comportamento térmico transiente nos moldes de injeção de termoplásticos. O modelo utilizado estima as trocas de calor ao longo das diversas fases do ciclo de injeção, em função da sua duração relativa, tendo em conta as interações com o fluido refrigerante e o ambiente. O código empregado considera a resistência térmica associada à interface molde/polímero e com base no campo de temperaturas do molde/polímero permite calcular o tempo de resfriamento e a variação de temperatura ao longo da periferia do produto moldado. Ainda no estudo são apresentadas as equações que governam o modelo em estudo. Sendo este caracterizado pelas trocas de calor entre o polímero e o molde, e deste para o exterior e para os canais de refrigeração dispostos no interior do molde.

- **Carneiro (2006)** desenvolveu um experimento onde, com auxílio de um programa de simulação da moldagem de plásticos por injeção (Moldflow), comprova que a transferência térmica é um fator que determina o bom desempenho do molde de injeção e, conseqüentemente, a produtividade no processo. Para tanto, o experimento foi medido e analisado qualitativamente, onde foram observados parâmetros como o projeto da peça, as propriedades térmicas do termoplástico, as propriedades térmicas do material do molde, o projeto e posicionamento dos circuitos de refrigeração.

- **Borba et al (2006)** buscaram levantar e identificar como se aplicam na prática o processo de projeto do sistema de refrigeração em setores de projetos instalados na própria indústria (ferramentarias) e nos escritórios de projetos. Os autores verificaram que a atividade de projeto se dá de forma empírica, ou seja, depende exclusivamente da experiência do projetista envolvido e que não há um referencial bibliográfico que apresente uma sistemática ou um modelo como fonte norteadora à ação de projetar o sistema de refrigeração. O trabalho ainda estabelece uma referência entre os elementos envolvidos no planejamento e execução do processo de projeto do sistema de refrigeração aplicado ao molde para injeção de polímeros. A pesquisa encontra-se detalhada no apêndice 01.

Ainda referente ao projeto do sistema de refrigeração, contribuíram os autores: Provenza, (1976); Glanvill (1980); Blass (1988); Menges et al (1993); Rees (1995); Sors (1998); Mylla (1998); Cruz (2002); Sacchelli et al (2002); Brito et al (2004); Harada, (2004); Fascin, (2004); Manrich (2005); Cunha (2005). Contudo esses autores apontam e relatam considerações referentes ao processo de projeto do sistema de refrigeração (macro fase), quanto ao dimensionamento e à avaliação do sistema aplicado ao molde de injeção, não detalhando o processo em si.

Nos estudos abordados, verifica-se ainda a preocupação com o projeto do sistema de refrigeração, tanto é que são realizadas inúmeras pesquisas na área, sejam:

- voltadas a novos elementos para efetuar de forma eficiente a troca de calor;
- na determinação de modelos matemáticos que permitam determinar de forma eficiente às dimensões e a própria eficiência do sistema de refrigeração e
- no desenvolvimento de *software* que permita simular o processo como um todo.

3.5 Considerações referentes ao capítulo

As atividades de desenvolvimento de produtos nas ultimas décadas, têm apresentado novas estratégias dentro das empresas, que competem dentro de um ambiente cada vez mais globalizado e competitivo. Situação também vivenciada no cotidiano das empresas envolvidas com o desenvolvimento, projeto e fabricação do molde de injeção para materiais poliméricos. A necessidade de se desenvolver produtos eficientes, num curto espaço de tempo, para o atendimento aos anseios dos clientes, tem se apresentado para essas empresas, como um dos grandes desafios a ser vencido. Para tanto, as empresas têm

buscado apoio nas propostas de metodologias que propiciem suporte à atividade de desenvolvimento de produtos.

Essas metodologias e procedimentos propostos ao desenvolvimento de produto não se apresentam diferenciados para a atividade do projeto do molde, já que o molde é considerado como um produto a ser desenvolvido e projetado para atender a uma necessidade imposta pelo cliente.

Quanto à atividade de projeto de um molde de injeção, são vários os trabalhos no sentido de agilizar a atividade de projeto do molde de injeção. Portanto, nos trabalhos estudados e apresentados no tópico 3.3, verifica-se que não há uma abordagem detalhada quanto ao projeto dos sistemas (alimentação, extração e refrigeração) que compõe o molde, ainda que os autores citados considerem esses sistemas como elementos de fundamental importância para a eficiência do molde e do próprio processo de injeção de peças fabricadas de materiais poliméricos.

Quanto ao sistema de refrigeração, foco principal deste estudo, verificou-se a existência de algumas recomendações, regras e ferramentas computacionais que auxiliam em seu projeto.

Considerando-se ainda que, na prática, na maioria dos casos os projetistas de moldes de injeção, desenvolvem o projeto do sistema de refrigeração de acordo com a experiência adquirida ou através de projetos similares já executados. O que pode levar, ou não, à fabricação de um molde com baixa eficiência durante a fase de refrigeração que compõe o ciclo produtivo, essa ineficiência pode ser atribuída ao projeto inadequado do sistema de refrigeração, o que leva a retrabalhos no molde de injeção.

Com base no objetivo geral deste trabalho e nos estudos desenvolvidos, na sequência no desenvolver do capítulo 4, é apresentada a sistemática proposta para o projeto do sistema de refrigeração do molde para injeção de polímeros. A sistemática terá como função estruturar as informações, fases e tarefas que compreende o processo de projeto do sistema de refrigeração, de forma a fornecer subsídios necessários a tomada de decisões, para que ao final do processo obtenha-se um projeto de sistema adequado ao molde de injeção e ao processo produtivo.

CAPÍTULO 4

SISTEMÁTICA PARA O PROJETO DE SISTEMAS DE REFRIGERAÇÃO APLICADOS AOS MOLDES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICO

No decorrer do capítulo, apresenta-se a sistemática proposta para o desenvolvimento da atividade de projeto do sistema de refrigeração, aplicados nos moldes para injeção de materiais poliméricos.

O desenvolvimento da sistemática encontra-se fundamentada na revisão bibliográfica e na análise desenvolvida sobre os resultados apurados na pesquisa de campo apresentada em detalhes no anexo A, de modo que na:

- Revisão bibliográfica buscou-se o entendimento da ferramenta o molde de injeção, do processo de produção dos componentes injetados a base se materiais poliméricos e de modelos sugeridos para o desenvolvimento da atividade de projeto do molde de injeção, de forma a fornecer subsídios à estrutura da sistemática proposta.
- Análise da pesquisa de campo conduzida no trabalho de Conclusão de Curso – Tecnologia em Mecânica – do Instituto Superior Tupy – SOCIESC, desenvolvido por Borba et al (2006), objetivou-se principalmente complementar os estudos relacionados à revisão bibliográfica. Considerando-se que, na revisão bibliográfica, não foram levantados modelos de referência ou sistemáticas para a atividade de projeto do sistema de refrigeração. Na análise da pesquisa de campo foi possível sim, detectar e identificar as melhores práticas empregadas durante esta atividade, o que permitiu desta forma estabelecer uma referência entre os elementos envolvidos no planejamento e execução do processo de projeto.

4.1 Contextualização

Nos estudos realizados (capítulo 3), ficou evidente a preocupação dos pesquisadores quanto ao desenvolvimento, de metodologias para serem empregadas, por projetistas durante as atividades de desenvolvimento e projeto de produtos a base de materiais poliméricos e nas atividades referentes ao projeto do molde para injeção.

Na atividade que envolve o projeto do molde de injeção, encontram-se inseridos os projetistas, entre eles, há os que apresentam muita e outros com pouca experiência. É principalmente durante as fases que envolvem um novo projeto, que se verificou o grande desafio para estes profissionais, principalmente para os que apresentam pouca experiência, pois os eles necessitam saber onde e como buscar as informações, para assim, aplicarem a cada atividade envolvida durante o projeto do molde, neste contexto apresenta-se inserido o sistema de refrigeração, foco desta pesquisa.

Na atividade de se projetar o sistema de refrigeração, o projetista necessita conhecer quais as inter-relações existentes entre as informações, passíveis de atender às

especificações e requisitos de projeto do produto, para então determinar qual ou quais conjuntos de soluções devem ser empregados para obtenção de sistemas de refrigeração (troca de calor) eficientes.

A falta de uma estrutura detalhada para ser aplicada na atividade que envolve o projeto do sistema de refrigeração que compõe um molde de injeção, impulsionaram o desenvolvimento dessa proposta. Uma sistemática com ênfase no projeto do sistema de refrigeração que apresente características tais como:

- Clareza na inter-relação, entre as informações de entradas, as etapas, as tarefas desenvolvidas e os resultados relativos a atividade proposta;
- Consistência, permitindo que o fluxo das informações se encontre adequadamente ordenado e especificado;
- Flexibilidade e o compartilhamento das informações, como proposta em modelos sob a abordagem da engenharia simultânea;
- Certo grau de generalidade e customização, servindo assim de base para adequação da sistemática à necessidade do projetista ou da empresa envolvida.

No decorrer do estudo, encontra-se detalhada a estrutura da sistemática proposta.

4.2 A sistemática proposta

A sistemática encontra-se fundamentada nas análises realizadas no decorrer deste estudo, respeitando-se as particularidades apresentadas em cada um dos conceitos estudados. Verifica-se que o processo de desenvolvimento de produtos é um conjunto de procedimentos e práticas, que dão origem a um modelo de referência e/ou uma sistemática.

De acordo com os estudos efetuados, observou-se que o molde de injeção foi, tratado pelos pesquisadores como uma atividade oriunda do processo de desenvolvimento de produtos a base de materiais poliméricos.

Essa atividade gerou, neste caso, um novo produto, neste caso, o molde de injeção. Um tipo de produto com especificações, restrições e funções bem definidas, contemplando uma grande quantidade de tecnologia envolvida na atividade de projeto. Consequentemente, pesquisadores buscaram desenvolver metodologias que atendessem a essa nova necessidade.

Ainda observou-se que, dentro das funções estabelecidas para o projeto do molde de injeção, encontra-se inserido a função de refrigeração (refrigerar cavidades e canais de alimentação), para tanto se faz necessário um sistema de refrigeração, que por sua vez, também apresenta especificações, restrições e funções bem definidas com uma grande quantidade de informações tecnológicas, o que remete a uma nova atividade de projeto, o sistema de refrigeração.

Na Figura 4.1, buscou-se representar essa estrutura, com a intenção de auxiliar na justificativa da origem da sistemática proposta. Onde podem ser observadas três atividades distintas: a primeira com o processo de desenvolvimento de produtos, donde origina-se uma

segunda atividade com o processo de desenvolvimento de molde e dela origina-se a terceira atividade, com sistemática proposta para o projeto do sistema de refrigeração.

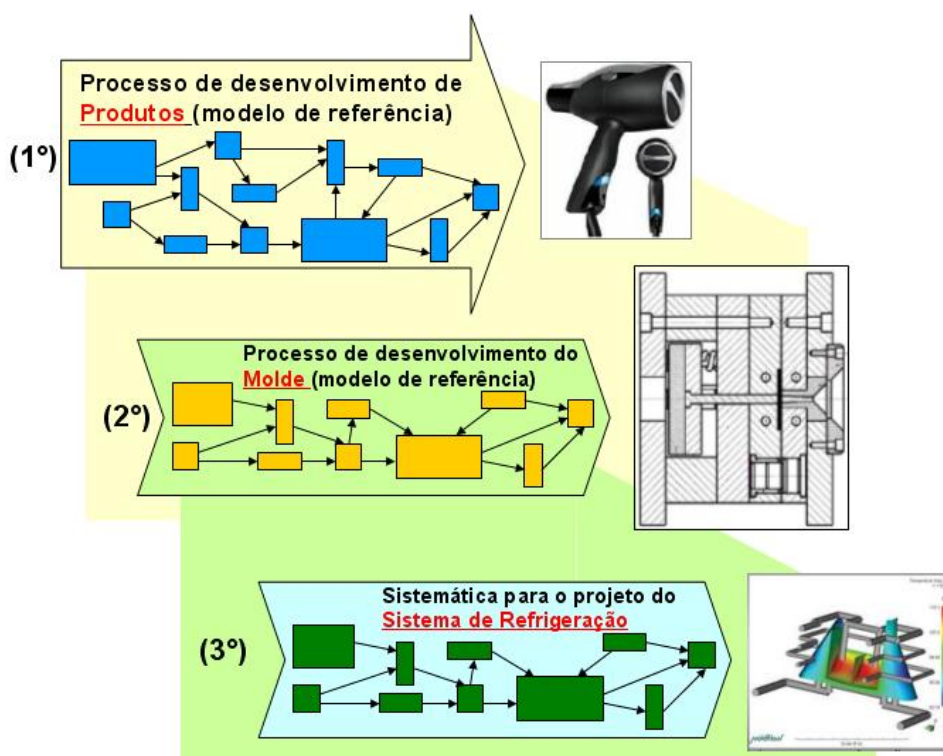


Figura 4.1 – Resumo das atividades de projeto até a sistemática proposta. (Adaptado de ROZENFELD et al, 2006)

Frente ao exposto, verifica-se que o projeto do sistema de refrigeração é uma atividade co-relacionada ao projeto do molde de injeção. Portanto, para efeitos da estruturação da sistemática proposta, o sistema de refrigeração foi considerado como um novo produto a ser projetado, pois conforme apresentado, este apresenta uma grande quantidade de tecnologia envolvida na atividade de projeto.

Na Figura 4.2 é apresentado o resultado desse estudo, através de uma visão macro da estrutura proposta para a sistemática. Na proposta buscou-se uma interação entre os conceitos e princípios aplicados em modelos de referência empregados no processo de desenvolvimento de produto, com conceitos e princípios propostos pela engenharia simultânea.

A adoção dessa diretriz tem como objetivo possibilitar uma fácil identificação dos elementos que compõem a proposta, elementos como: as informações de entradas **(A)**, as fases que compõem a atividade de projeto **(B)** e os resultados que podem ser por fases (individuais), ou mesmo da atividade como um todo **(C)**, os elementos sugeridos propiciaram o suporte necessário para o desenvolvimento da atividade proposta, nesse caso o projeto do sistema de refrigeração.

Ainda na Figura 4.2, é apresentado o detalhamento da macroestrutura da sistemática proposta. A sistemática é representada por um quadro, sobre este quadro encontram-se os elementos propostos para a mesma. Na parte superior e centralizada, há um campo

destinado à denominação da atividade a que se propõe o projeto. Logo abaixo, à esquerda e na parte inferior do quadro, encontram-se representadas as entradas de informações, distribuídas em três quadros **(A)**, cada qual com informações necessárias e pertinentes à atividade proposta, ou seja, a cada fase de desenvolvimento de produto sugerida.

Localizado ao centro entre as informações e os resultados de cada fase ou da atividade proposta, encontram-se outros três quadros **(B)** que enfocam as três fases sugeridas, juntamente com suas respectivas tarefas e resultados possíveis de se obter. Representado à direita na macroestrutura, encontra-se a saída com os resultados **(C)**, de cada fase ou da atividade proposta, considerando-se que esse resultado pode ser obtido individualmente, ou seja, por fase, ou da atividade proposta como um todo.

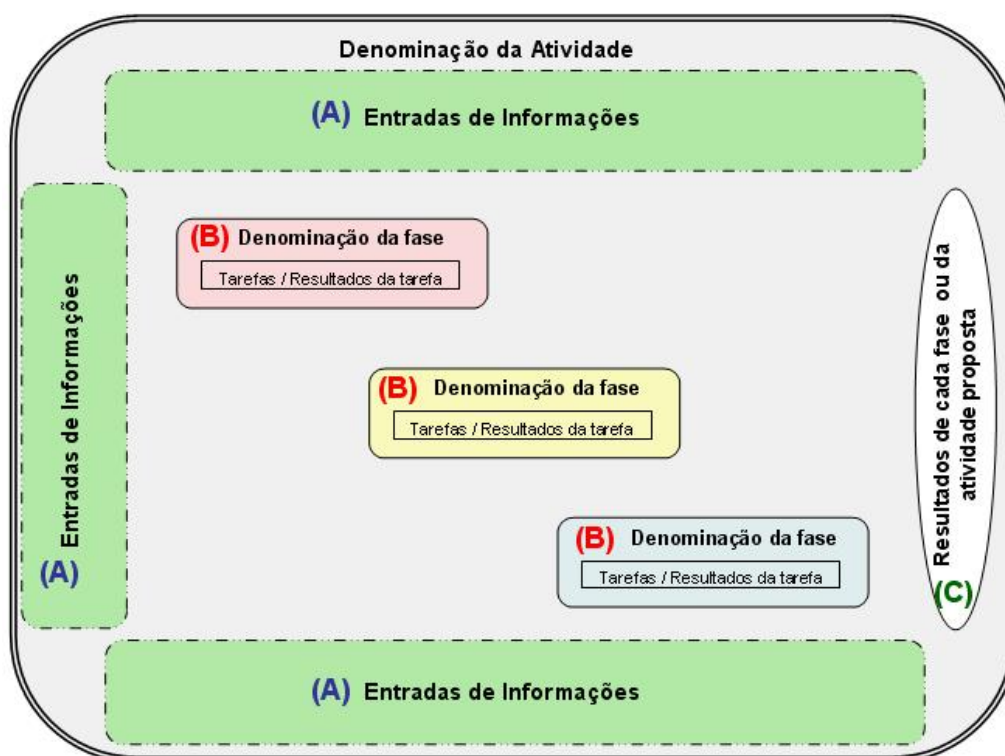


Figura 4.2 – Estrutura adotada para sistemática proposta

Na Figura 4.3, buscou-se representar a inter-relação entre as informações de entrada, as fases do processo de desenvolvimento da atividade, com os resultados de saída. As setas **(E)** exemplificam um possível fluxo destas informações e como elas interagem durante o processo. Neste exemplo demonstra-se um possível fluxo de informações **(A1, A2 e A3)** alimentando a fase **(B1)**, a qual, após a sua conclusão remete-se a próxima fase **(B2)** ou a caixa correspondente aos resultados **(C)** da respectiva fase. Esse fluxo de informações, entre os elementos (informações, fases, e resultados) são desenvolvidos, seja na condição de alimentação ou retro-alimentação do processo. Assim se repetindo para as demais fases **(B2 e B3)**, onde após a conclusão das três fases propostas, obtém-se o projeto do sistema de refrigeração como resultado.

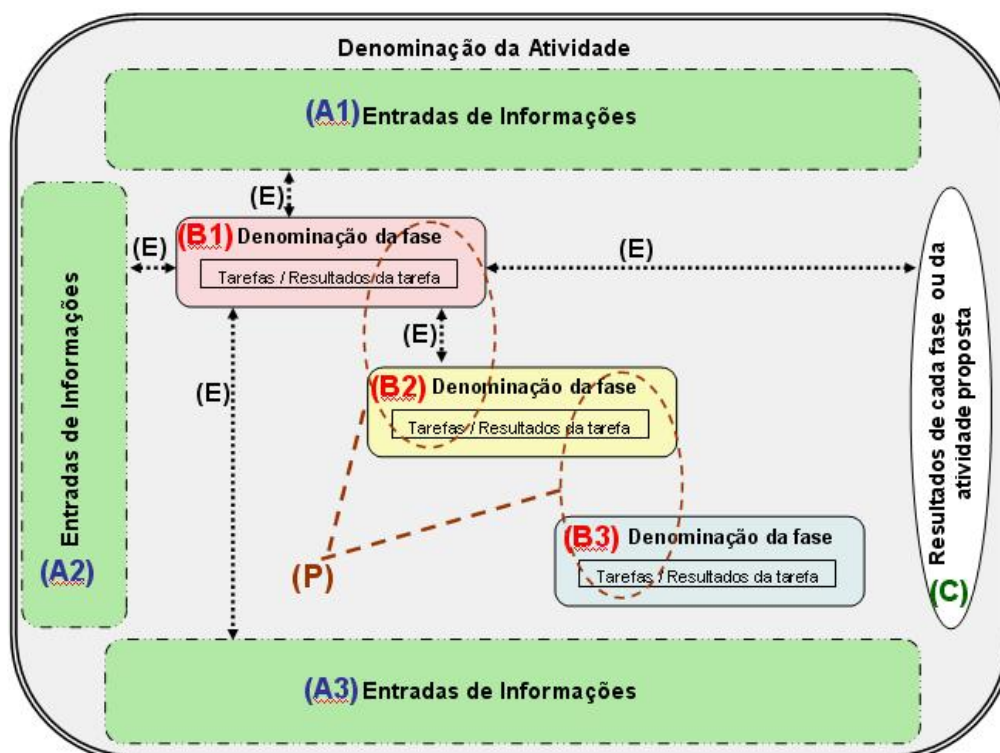


Figura 4.3 – Inter-relação e fluxo das informações que compõem a sistemática

Ainda observando-se a Figura 4.3, é possível perceber que as fases podem ser desenvolvidas em paralelo (identificada com uma letra **P**) ou de forma simultânea, permitindo tornar o processo de desenvolvimento de mais ágil. Com esse modelo de estrutura, também se buscou proporcionar uma maior flexibilidade, melhor distribuição das tarefas envolvidas e o compartilhamento das informações, como proposta em modelos que apresentam uma abordagem sob aspectos de engenharia simultânea.

Na Figura 4.4, é apresentado um detalhamento parcial da sistemática proposta e, nos quadros destinados às informações, pode ser observado que um é designado às informações do molde **(A1)**, informações tais como: classificação/tipos, material das cavidades, número e leiaute de cavidades, sistemas de alimentação e sistema de extração.

No segundo **(A2)** encontram-se as informações pertinentes ao componente e ao processo de produção, sendo: especificações do produto, tamanho do lote a ser produzido, tempo do ciclo de injeção e especificações da máquina (neste considera se existe sistemas de alimentação para o sistema de refrigeração do molde). O último **(A3)** com informações referentes aos sistemas e arquiteturas de refrigeração do molde propriamente dito, (sistemas e arquiteturas existentes), o dimensional do circuito e o material do circuito (materiais empregados na obtenção circuito).

Ainda na Figura 4.4, verifica-se a representação das fases que correspondentes ao processo de desenvolvimento de produto, que nesta sistemática proposta, representa o desenvolvimento da atividade relacionada ao projeto do sistema de refrigeração. As fases encontram-se divididas em três, sendo uma destinada ao projeto informacional, uma ao

projeto conceitual e uma ao projeto detalhado, cada qual representada com as respectivas tarefas e resultados desejados.

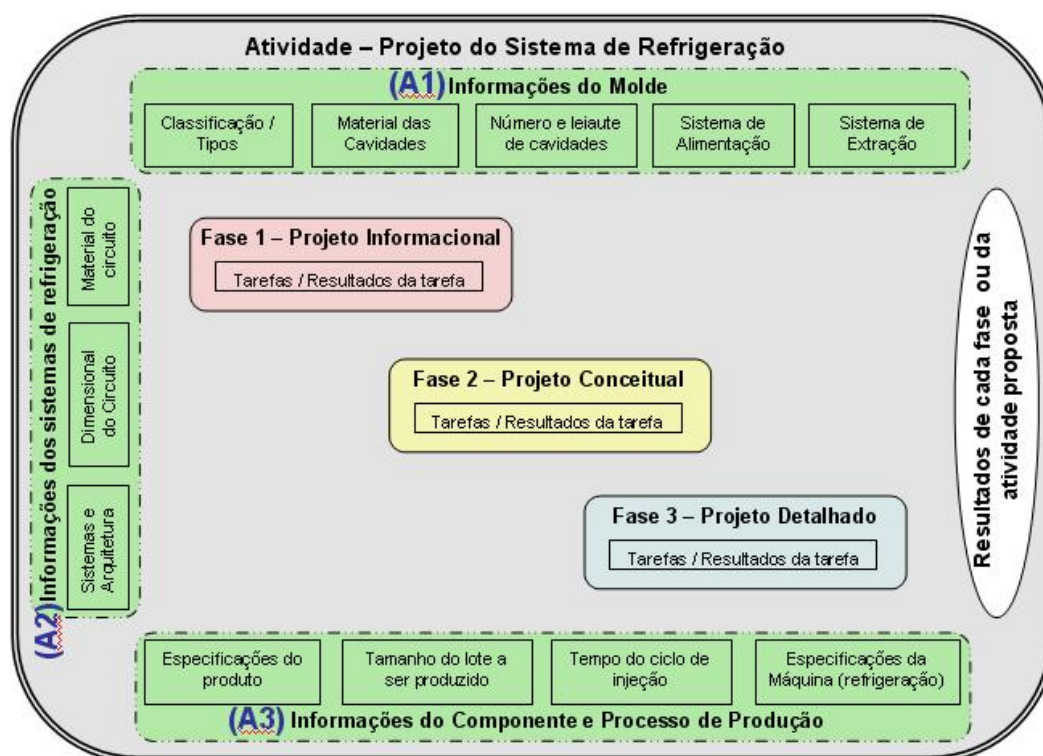


Figura 4.4 – Sistemática proposta (detalhamento parcial)

Durante o projeto informacional (**Fase 1**), são levantadas as informações pertinentes à atividade proposta, sendo registradas na planilha de levantamento, armazenamento e verificação de informações “*Checklist Informacional*”, localizada no Anexo B.

No projeto conceitual (**Fase 2**), buscam-se informações necessárias à geração do conceito do sistema ou da arquitetura a ser aplicada no molde de injeção. Essas informações são registradas na planilha de levantamento, verificação e acompanhamento das informações “*Checklist Conceitual*” localizada no anexo C.

Na execução do projeto detalhado (**Fase 3**), é gerado o projeto do sistema de refrigeração proposto, conseqüentemente o dimensionamento do sistema e os respectivos desenhos, destinados a fabricação do molde.

Referente à fase que compreende o projeto preliminar sugerido por alguns autores, os mesmos não incluíram propostas para o processo de desenvolvimento de produtos, porque consideraram que os sistemas e arquiteturas aplicados aos sistemas de refrigeração de um molde já existem, conforme detalhado no capítulo 2, item 2.4.2 deste trabalho.

Faltando apenas determinar qual a melhor opção de sistema, de leiaute e quais as dimensões para mesmo, de forma a proporcionar o bom desempenho para o sistema proposto, contemplando o controle da temperatura nas cavidades do molde, ou seja, permitir que a peça injetada na cavidade do molde seja resfriada de forma homogeneia, com um ciclo de injeção reduzido, e com a qualidade desejada. Para essa tarefa sugere-se o emprego de

softwares de CAE, considerando-se que propiciaram agilidade e qualidade das informações originadas.

Portanto, as possíveis tarefas, que eventualmente poderiam estar contidas na fase do projeto preliminar, foram distribuídas dentre as demais fases, a do projeto conceitual e do projeto detalhado, tais fatos possibilitaram a obtenção de uma estrutura mais compacta.

À direita na estrutura da sistemática (quadro), encontra-se localizada a saída dos resultados de cada fase ou mesmo da atividade proposta. Quanto aos resultados extraídos em cada fase, está sendo considerado que cada uma delas (projeto informacional, conceitual e detalhado) gera dados que podem ser empregados por empresas com atividades distintas, mas com objetivos em comum, nesse caso, a fabricação de moldes para produção de componentes injetados.

Quanto à composição das informações que alimentam as fases de projeto, estas são detalhadas a seguir:

• **Informações referentes ao molde de injeção** – normalmente são resgatadas junto ao processo inicial do desenvolvimento do projeto do próprio molde de injeção (projeto informacional do molde), informações tais como:

- ✓ Número de cavidades em função da produção desejada;
- ✓ Leiaute de cavidades observando o balanceamento da própria injeção;
- ✓ Tipo ou classificação dos moldes de acordo com o perfil do produto a ser injetado;
- ✓ Materiais aplicados na cavidade do molde de acordo com a necessidade do produto ou em função do tipo de material a ser injetado e o;
- ✓ Sistema de alimentação em função do tipo de canais de alimentação, podendo ser frio (convencionais) ou quente.

• **Informações referentes ao componente e processo de produção** – Também são resgatadas das informações na fase inicial do projeto do molde, informações tais como:

- ✓ Especificações do produto – referente ao tipo de material a ser injetado, ao grau de complexidade quanto ao perfil do produto, e à linha de abertura do molde;
- ✓ Tamanho do lote - permite conduzir a análise do investimento a ser aplicado no projeto do molde, seja relacionado ao material empregado, aos sistemas de alimentação, extração e refrigeração do molde, e à condição de ser realizada ou não uma simulação de injeção (esta em função do tempo de ciclo ou grau de complexidade do produto);
- ✓ Tempo do ciclo de injeção - normalmente fornecido pelo solicitante do molde, em função desse tempo é que normalmente se opta ou não pela realização de uma simulação do processo;
- ✓ Especificações da máquina injetora - se estas possuem algum aparato para auxiliar na alimentação do sistema de refrigeração do molde.

• **Informações referentes à refrigeração do molde** – A necessidade dessas informações se dá principalmente durante a fase do projeto conceitual e detalhado do

sistema de refrigeração, não desconsiderando que pode ocorrer à necessidade de outras informações (referentes ao molde, processo ou produto), para melhor definir:

- ✓ Qual o sistema ou arquitetura mais indicado ao processo solicitado;
- ✓ Qual o material a ser empregado no sistema ou circuito de refrigeração;
- ✓ Qual o método aplicado para dimensionar o circuito, podendo ser através de modelos matemáticos utilizando-se de cálculos desenvolvidos para atividade afim, ou aplicar a simulação em software apropriado, que permita a realização de uma simulação do processo como um todo, fornecendo todos os parâmetros necessários ao processo.

Considerando-se a atividade de projeto do sistema de refrigeração a ser adotado no projeto do molde, apresenta-se uma caracterização das informações (Figura 4.5).

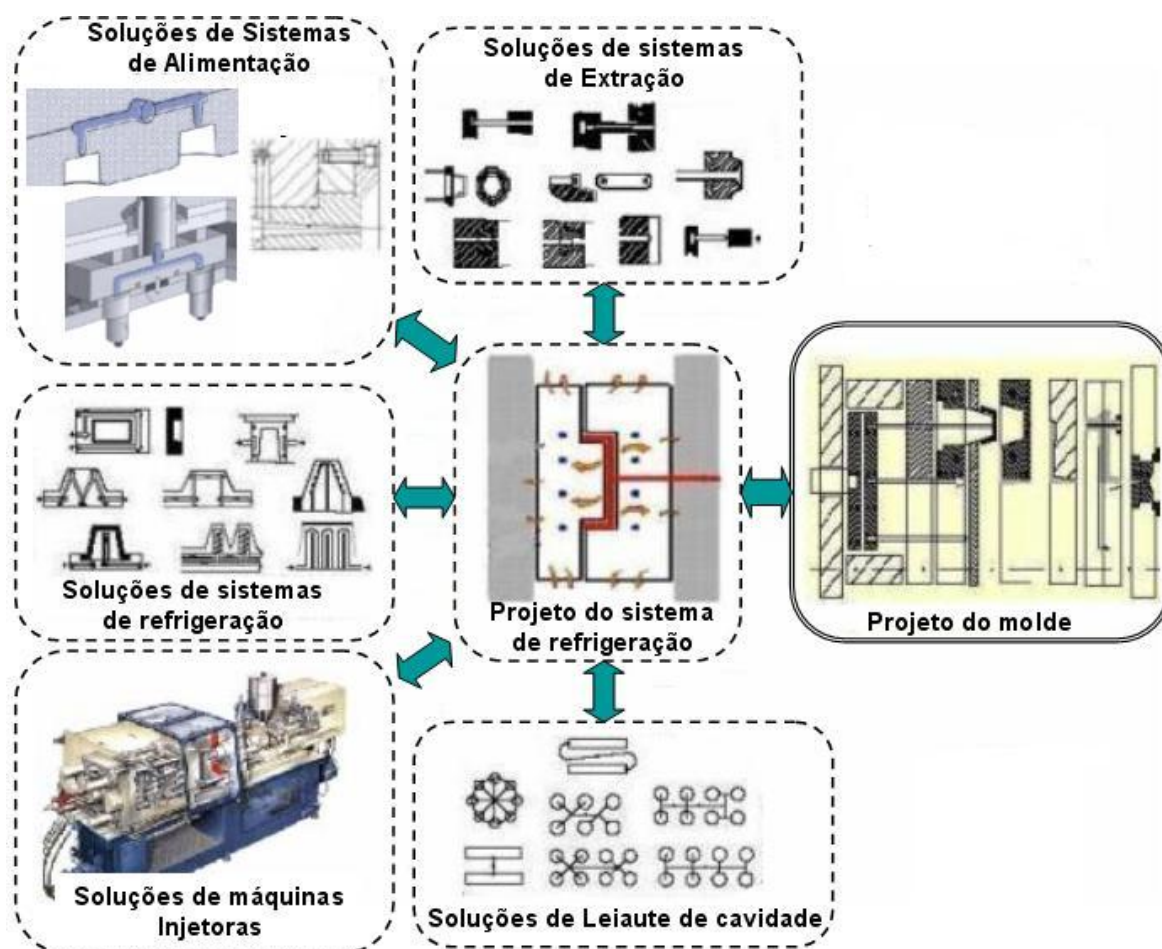


Figura 4.5 – Caracterização das possíveis soluções e sua interação no projeto do sistema de refrigeração. (Adaptado de COSTA et al, 2004)

Através da caracterização das informações apresentadas na Figura 4.5, pertinentes às possíveis soluções a serem consideradas durante a atividade de projeto do sistema de refrigeração, buscou-se: agilidade e flexibilidade no processo de projeto, através da melhor distribuição das tarefas envolvidas e do compartilhamento das informações necessárias a atividade proposta.

Portanto há necessidade de levar em consideração que, para a sistemática contribuir e ser efetiva durante o processo de projeto do sistema de refrigeração, fatores como a

eficiência da empresa e a condição emocional dos profissionais envolvidos na sua aplicação necessitam serem observadas.

As fases (projeto informacional, conceitual e detalhado) propostas para a atividade de projeto do sistema de refrigeração encontram-se melhor esclarecidas na sequência do estudo.

4.2.1 Projeto informacional

Na Figura 4.6, encontram-se identificadas as principais informações e tarefas que compõem a fase do projeto informacional, proposto para a atividade do projeto do sistema de refrigeração.

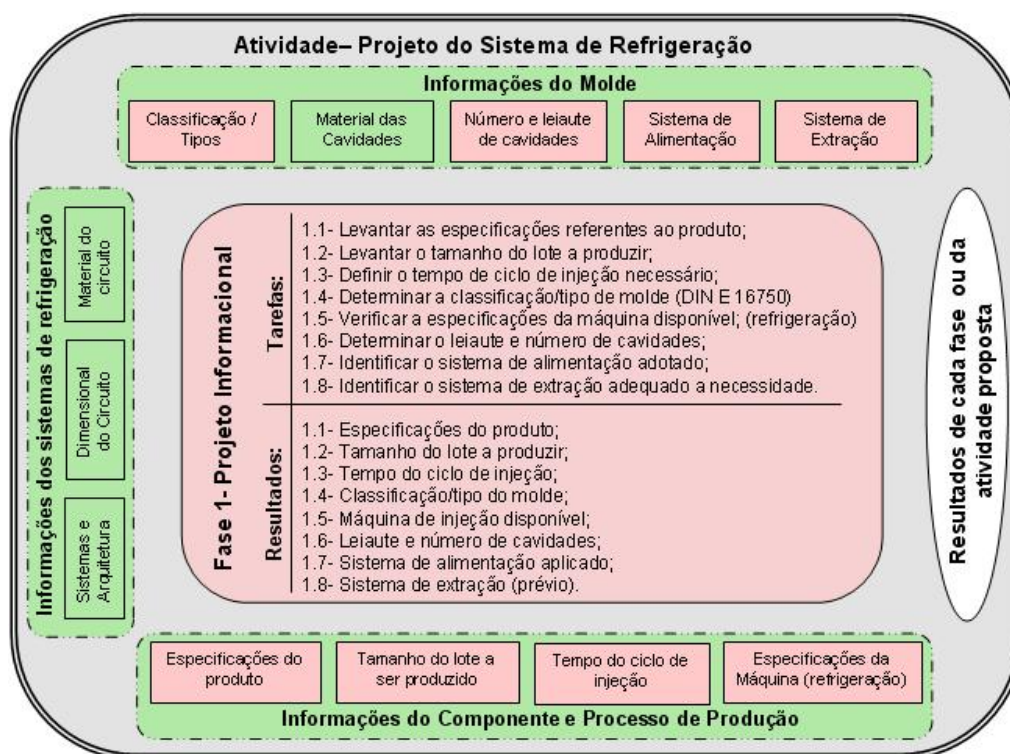


Figura 4.6 – Sistemática proposta (Projeto Informacional)

Para o desenvolvimento dessa fase, que caracteriza o projeto informacional foi estruturado um *checklist* (apêndice B), com o objetivo de auxiliar no levantamento, armazenamento e verificação das informações, considerando que determinadas informações, tais como: tamanho do lote a produzir, número e leiaute de cavidades, classificação/tipo do molde de acordo com a norma vigente (DIN 16750), sistemas de alimentação e extração, especificações do produto a ser injetado, tempo do ciclo especificado pelo cliente e especificações da máquina quanto ao sistema de refrigeração disponível necessitam ser recuperadas junto à fase do projeto informacional do próprio molde.

As tarefas contidas nessa fase de projeto são alimentadas por informações como: especificações referentes ao produto, tamanho do lote a se produzir, tempo estimado do

ciclo de injeção, disponibilidade da máquina injetora, sistemas de alimentação e extração respectivamente.

Não há necessidade das informações serem apresentadas nessa sequência. Mesmo que seja considerada como a mais recomendada de acordo com o apresentado nos resultados da pesquisa de campo, apresentada no apêndice A. As informações referenciadas podem ser verificadas junto à Tabela A.1 e na Figura A.8 do respectivo apêndice, fato que leva a ressaltar quanto o conteúdo das informações a serem levantadas são pertinentes, a fase do projeto informacional do molde.

Na sequência, encontram-se detalhadas as tarefas que contemplam as atividades do projeto informacional e que estão diretamente relacionadas às informações pertinentes à tarefa proposta:

➤ 1.1- Levantar as especificações referentes ao produto. – Nessa tarefa, há necessidade de se verificar:

- **o tipo de material** empregado para obtenção do produto, ou seja, as características ou propriedades do material como: a difusividade efetiva média; temperatura de desmoldagem do material; massa de polímero fundido a ser injetado; taxa de contração e a condutividade térmica.

- **a espessura das paredes**, quando um produto a ser moldado, apresentar em sua estrutura diferenças na espessura de paredes, é necessário que o projetista há considere, pois, quanto maior for a espessura desta parede, maior será concentração de calor trazido pelo fundido. A compensação da temperatura se dá através do dimensionamento e localização do circuito/arquitetura empregado no sistema de refrigeração, de forma a proporcionar um equilíbrio térmico neste sistema. Essa situação também deve ser considerada para regiões onde há concentrações de massa no produto, oriundas de sua forma geométrica.

- **o grau de complexidade do produto** encontra-se relacionado às configurações apresentadas, seja em função do seu dimensional, sua forma ou mesmo seu perfil. Considerando-se que as cavidades do molde refletem as configurações apresentadas pelo produto, é possível afirmar que estas cavidades podem apresentar regiões que necessitem de um controle mais eficiente da temperatura, para assim garantir, o dimensional, a forma, o perfil, o acabamento superficial e as propriedades físicas e mecânicas da peça moldada. Os estudos dedicados a essas configurações, contribuem de forma significativa para a determinação do sistema/arquitetura mais adequado a serem empregados no projeto do molde. Fato verificado quando se trata de um projeto do sistema de refrigeração de peças consideradas de baixa complexidade, onde são empregados sistemas à base de furos, não havendo necessidade da adoção de sistemas mistos, (furação adaptados junto a sistemas Baffles, Bubbler, pinos térmicos, entre outros).

➤ 1.2- Levantar o tamanho do lote a produzir. – Nessa tarefa, deve-se verificar a quantidade de peças a serem produzidas mensalmente e qual a estimativa de vida útil do molde de injeção, ou seja, levar em consideração o tempo em que a peça será comercializada.

Em função do tamanho do lote e do tempo do ciclo de produção solicitado pelo cliente, é definido quanto investir no desenvolvimento e projeto do molde, conseqüentemente no projeto do sistema de refrigeração, pois em função da sua arquitetura e materiais aplicados, pode haver alterações significativas no orçamento. Fato verificado, junto ao projeto de moldes, desenvolvidos para tornar o processo produtivo mais otimizado, através da redução do ciclo de injeção.

Outra forma aplicada para aumentar o número de peças a serem produzidas num ciclo de injeção é através do aumento do número de cavidades do molde, cuja situação requer uma estrutura maior para o molde, conseqüentemente, as máquinas também necessitam de configurações de maior porte. Essa solução pode não garantir a produção desejada e a qualidade do produto moldado.

➤ 1.3- Definir o tempo de ciclo de injeção necessário. – É nessa tarefa que o projetista se orienta para definir quais sistemas, arquiteturas e materiais serão empregados no circuito de refrigeração, podendo optar por sistemas de simulação reológica, (realizar a simulação em software apropriado) ou mesmo desenvolver cálculos matemáticos (atividade que demanda certo tempo e não é confiável, pois apresenta inúmeras variáveis a serem consideradas ao processo)

➤ 1.4- Determinar a classificação/tipo de molde (DIN E 16750). – para aplicar na atividade de projeto do sistema de refrigeração proposto na sistemática, recomenda-se à utilização da classificação adotada pela norma técnica DIN E 16750. Além dessa configuração, alguns autores, adotam a classificação do molde em função do princípio funcional ou em função dos sistemas aplicados ao mesmo, conforme pode ser observado no capítulo 2. A determinação da arquitetura do sistema de refrigeração a ser empregado, encontra-se diretamente condicionada à configuração do molde, sendo que, esta configuração pode restringir ou dificultar a aplicação de algum sistema/arquitetura proposto para o sistema de refrigeração.

➤ 1.5- Verificar as especificações da máquina disponível (refrigeração). – Nessa tarefa, identifica-se se a máquina injetora dispõe de algum sistema para alimentação da refrigeração que se encontra integrada à estrutura do molde. Na existência de um sistema, registra-se o número de entradas e saídas disponíveis na máquina injetora e se há algum equipamento empregado no controle da temperatura e velocidade do fluxo do fluido refrigerante. Tais condições corroboram para a manutenção de uma temperatura

homogenia, seja esta, na superfície da cavidade ou na diferença de temperatura recomendada entre a entrada e saída do fluido refrigerante do circuito de refrigeração do molde.

No entanto a diferença entre a temperatura de entrada e saída do fluido de refrigeração necessita ser mantida entre 2 e 5°C. Essa diferença, esta diretamente vinculada à eficiência do sistema de refrigeração, ou seja, na obtenção de peças que atendam aos requisitos de qualidade, em ciclos de injeção mais reduzidos.

➤ 1.6- Determinar o leiaute e número de cavidades. – O leiaute e o número de cavidades são definidos em função, do número de cavidades necessárias para atender á demanda de produtos injetados e do balanceamento do sistema de alimentação, permitindo que as cavidades possam ser preenchidas ao mesmo tempo e com a mesma pressão de preenchimento. Tais fatores são determinantes na definição do leiaute do sistema de refrigeração.

Quando se referencia o balanceamento de um sistema de alimentação, cuja disposição (leiaute) das cavidades influencia diretamente na efetividade deste sistema, é necessário considerar o balanceamento do sistema de refrigeração, pois a falta desse equilíbrio no balanceamento, provoca alterações na velocidade de fluxo do fundido e na pressão de injeção.

Fatores como a diferença da temperatura de resfriamento, temperatura de injeção, velocidade de fluxo do fundido e a pressão de injeção, influenciam diretamente na qualidade do produto moldado, propiciando defeitos como o empenamento, brilho indesejáveis, escamações entre outros, (conforme apresentados no capítulo 2).

➤ 1.7- Identificar o sistema de alimentação adotado. – a identificação do sistema de alimentação empregado, se faz necessário para o projeto do sistema de refrigeração, para tanto é necessário considerar fatores como: o tipo de alimentação; o comprimento do fluxo e a área da seção do canal de alimentação. Tais fatores apresentam influências diretamente no processo de refrigeração, seja, dos canais de alimentação ou da peça moldada. Portanto, é necessário considerar no projeto, que quanto menor for a área da seção do canal de alimentação, menor será o tempo de espera para a solidificação deste, conseqüentemente do produto. Em função dessa redução da área de seção, ocorrerá um aumento considerável da resistência ao fluxo de material injetado, para o qual, será necessário o aumento da pressão de injeção.

➤ 1.8- Identificar um sistema de extração adequado à necessidade. – é uma tarefa que demanda conhecer os tipos de sistemas empregados na extração do produto, ou seja, a remoção do produto da cavidade do molde. Durante a atividade de projeto do sistema de refrigeração se faz necessário identificar: o melhor, ou melhores pontos para a localização

do extrator no produto, o número de extratores necessários para o processo de extração e o tipo de extração ser empregado.

O resultado dessa tarefa possibilita precisar a escolha de qual, ou quais sistemas/arquiteturas podem ser empregados no projeto do sistema de refrigeração, já que entre os dois sistemas necessita de uma harmonização (conciliação) entre suas localizações. Tal situação ocorre em função do espaço que ambos os sistemas disputam no projeto do molde.

No entanto, de nada adianta possuir um sistema de refrigeração perfeito, se não for possível a extração do produto sem danificá-lo, ou mesmo, causar marcas indesejáveis, ou vice-versa, não adianta se ter um sistema de extração perfeito, se o sistema de refrigeração não for eficiente, tais condições podem favorecer situações, tais como o aumento no tempo do ciclo de injeção e problemas quanto a qualidade do produto moldado.

4.2.2 Projeto conceitual

Nessa fase de projeto, aplica-se um segundo *checklist* (apêndice C), seguindo-se a mesma orientação do proposto para o apêndice B. Com uma diferença, nessa fase há uma abrangência mais específica, focada em informações pertinentes à definição e escolha do sistema/arquitetura mais recomendado para o sistema de refrigeração a ser adotado no projeto do molde de injeção. De tal forma a possibilitar o atendimento às necessidades do produto e processo de produção.

As informações pertinentes a essa fase são referentes ao sistema/arquitetura da refrigeração (furação, Bubble, Baffle, serpentina, barras refletoras, tubos transferidores de calor, entre outros) e ao material a ser empregado no circuito (materiais alternativos), podendo ser aplicados, tanto nas cavidades como nos machos que dão a forma ao produto moldado. O emprego de materiais alternativos propicia uma troca de calor mais eficiente entre a peça em processo e o molde de injeção. Essa condição se verifica em função da alta condutividade térmica, ou seja, da capacidade que o material tem de conduzir, transferir diferenças de temperatura. Por exemplo, citam-se as ligas de cobre.

Nessa fase, são definidas e geradas a melhor, ou melhores soluções de concepções de sistemas de refrigeração, passíveis de serem empregados na função de refrigerar o molde de injeção, os canais de alimentação e o material moldado sob a forma de um produto (perfil das cavidades), possibilitando-lhe adquirir a resistência necessária para que se possa efetuar a extração da cavidade do molde de injeção sem que haja deformações.

Na sequência do estudo, encontram-se detalhadas as tarefas e as informações que contemplam a fase do projeto conceitual. As informações destacadas apresentam-se diretamente relacionadas às tarefas propostas para a atividade de projeto do sistema de refrigeração. Ver a representação gráfica na Figura 4.7.

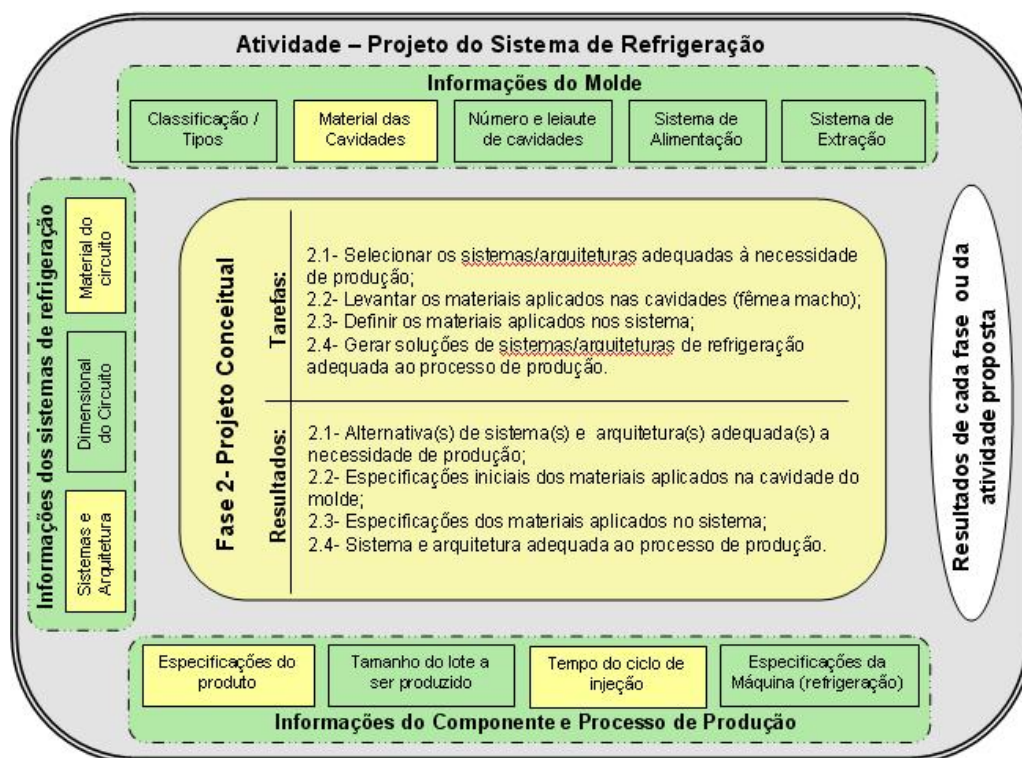


Figura 4.7 – Sistemática proposta (Projeto Conceitual)

As tarefas que compõem a fase do projeto conceitual são detalhadas na sequência:

➤ **2.1- Selecionar sistemas/arquiteturas adequadas às necessidades de produção.** – a tarefa permite a identificação e seleção dos possíveis sistemas/arquiteturas de refrigeração, que venham a atender as necessidades do projeto de refrigeração do molde e do processo de produção.

O estudo é realizado com a intenção de buscar a melhor, ou melhores alternativas, que contemplem a função de refrigeração, (das cavidades com produto moldado, dos canais de alimentação e dos componentes do molde), de forma a reduzir o ciclo de injeção, desde que essa redução não comprometa a qualidade do produto final, quanto ao acabamento superficial, às tolerâncias dimensionais e às propriedades da peça moldada.

A realização dessa tarefa encontra-se fundamentada nas informações provenientes do: tipo de material a ser injetado; perfil e espessuras de parede da peça; leiaute proposto para as cavidades; sistema de alimentação e de extração e tempo exequível do ciclo de injeção, considerando-se que esse tempo normalmente é determinado, ou sugerido pelo cliente de forma a atender sua expectativas de produção.

➤ **2.2- Levantar os materiais aplicados nas cavidades (fêmea, macho).** – em função da seleção dos sistemas/arquiteturas de refrigeração, é necessário levantar o tipo de material aplicado nas cavidades do molde (macho e fêmea). De posse dessas duas informações, torna-se possível verificar se o sistema de refrigeração atende às especificações de processo, ou seja, verificar se o sistema proposto é eficiente. Essa verificação se da durante

o projeto detalhado e pode ser realizado, aplicando-se cálculos matemáticos, ou empregando-se software CAE na simulação do processo de injeção.

Dado ao fato, da condição de verificação da eficiência térmica do sistema de refrigeração, e sendo constatado que este, não atende as necessidades de processo, é possível se optar pela troca do material da cavidade do molde, assim empregando-se materiais alternativos com alto coeficiente de condutividade térmica, por exemplo, as ligas de cobre.

Outra opção seria o emprego de postiços, ou pinos térmicos nas regiões da cavidade, ou do macho, onde os canais convencionais de refrigeração (furos) apresentam-se ineficientes na função de refrigerar a peça moldada, em função de estarem muito afastados da superfície da cavidade. O perfil complexo de uma peça moldada é uma das possíveis causas que favorece a ineficiência do processo de resfriamento durante os ciclos de injeção. Essas dificuldades podem estar relacionadas a defeitos como, brilho insatisfatório e distorções na sua forma geométrica.

➤ 2.3- Definir os materiais aplicados no circuito de refrigeração – essa atividade é desenvolvida simultaneamente com duas anteriores, a de selecionar o sistema/arquitetura adequado e levantar os materiais a serem aplicados nas cavidades do molde. Tem como objetivo definir quais materiais podem ser aplicados no circuito de refrigeração do projeto do molde, para tanto são necessárias informações, quanto ao perfil e tamanho das peças a serem moldadas.

As peças consideradas de perfis complexos e de tamanhos pequenos, ou mesmo avantajados, normalmente apresentam dificuldades durante o processo que envolve o seu resfriamento. Tal condição, normalmente é atribuída à dificuldade de se chegar com os canais de refrigeração (furos), próximos à superfície de contato do molde com o material moldado, podendo ocasionar o aumento no tempo do ciclo de injeção, além da possibilidade de comprometer a qualidade do produto.

Para tanto há necessidade de se aplicar junto aos sistemas concebidos pelo processo de furação, outras concepções de sistemas/arquiteturas, como por exemplo, o emprego de ligas de cobre e o alumínio, pois, facilitam o processo de remoção (troca) do calor entre a cavidade, o produto e o meio refrigerante, devido ao elevado coeficiente de condução térmica destes materiais. Nestes sistemas/arquiteturas é necessário considerar que o processo de furação se faz presente na grande maioria das soluções propostas, conforme foi apresentado no capítulo 2.

➤ 2.4- Gerar soluções de sistemas/arquiteturas de refrigeração adequada ao processo de produção. – nessa tarefa é gerada a solução, ou soluções de sistemas/arquiteturas, mais adequados à necessidade. A realização da tarefa está condicionada a informações referentes: ao tipo de material a ser injetado; ao perfil e espessura de parede do produto; à

qualidade exigida quanto ao dimensional e acabamento superficial; ao leiaute proposto para as cavidades e ao tempo de ciclo solicitado pelo cliente.

A determinação da eficácia do sistema, ou sistemas propostos para refrigeração do molde, ou seja, qual das alternativas melhor atende às especificações de tempo de processo e qualidade do produto, é aprofundado na fase seguinte, a do projeto detalhado.

4.2.3 Projeto detalhado

Essa etapa é composta por três tarefas distintas: a primeira trata do dimensionamento do sistema, a segunda verifica a eficiência do sistema proposto e a terceira gera o desenho detalhado do sistema de refrigeração (desenho técnico). Na Figura 4.8 são apresentadas as tarefas desenvolvidas durante esta fase de projeto.

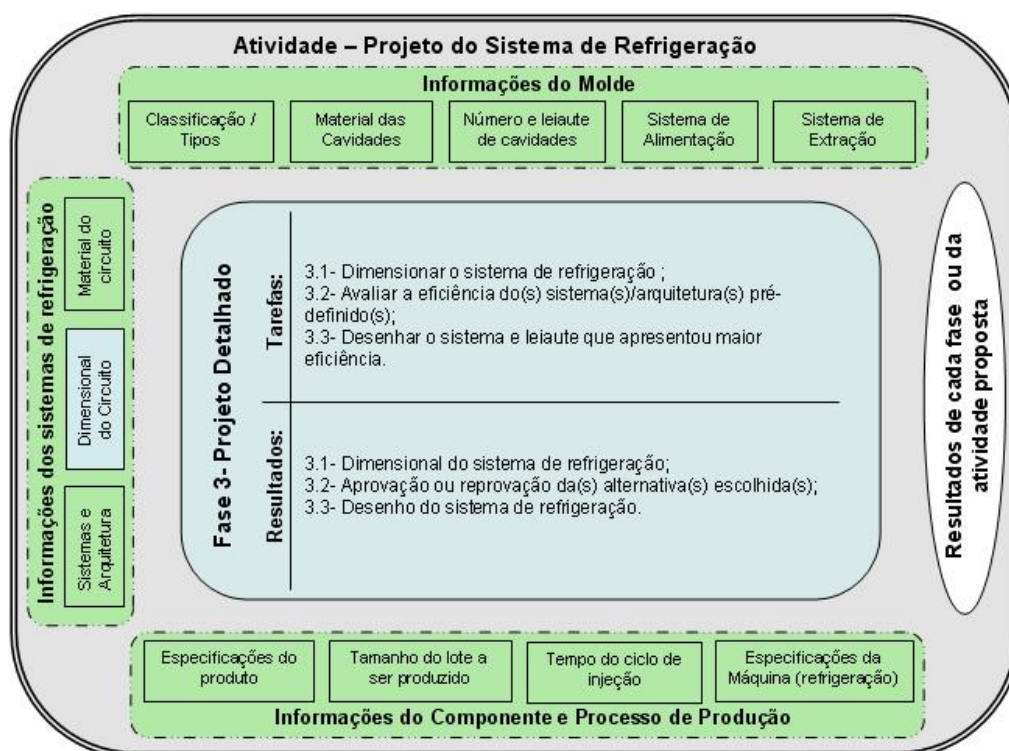


Figura 4.8 – Sistemática proposta (Projeto detalhado)

Para o desenvolvimento das atividades propostas nessa fase de projeto, são necessárias informações pertinentes ao dimensionamento e à verificação da eficiência dos sistemas/arquiteturas propostos, conforme estudado capítulo 2. Não está representado na estrutura da sistemática proposta, mas são necessárias informações quanto à representação gráfica de desenho técnico de acordo com as normas vigentes.

As atividades (tarefas) desenvolvidas na etapa do projeto detalhado são detalhadas na sequência:

➤ 3.1- Dimensionar o sistema de refrigeração – É uma tarefa muito delicada, pois a temperatura de processo registrada sobre as superfícies das cavidades é uma variável

crítica, como expõe Cunha (2004), que deve ser criteriosamente controlada por questões de produtividade e de qualidade do produto final.

Ainda segundo o autor, a temperatura verificada nas superfícies das cavidades (macho e fêmea), em função do tipo da matéria-prima e das especificações do produto, pode ser necessário à manutenção de temperaturas diferenciadas nos dois conjuntos do molde, ou seja, a necessidade de um ajuste (controle diferenciado) de temperatura, seja no conjunto superior composto normalmente pelas cavidades fêmeas, ou no conjunto inferior composto pelas cavidades macho.

Para o procedimento de dimensionamento do sistema, são adotadas duas formas distintas, conforme citado anteriormente. A primeira baseia-se em cálculos, considerando-se a resistência térmica associada à interface molde/polímero, e com base no campo das temperaturas no contato molde/polímero, calcula-se o tempo de resfriamento e a variação de temperatura que ocorre ao longo da superfície da cavidade.

Os cálculos citados para a referida tarefa são abordados e detalhados por: Glastrow (1993), Menges & Mohren (1993), Ress (1995), Malloy (2000), Barros (2004), Cunha, (2004), Manrinch (2005) e Harada (2006).

De acordo com Barros (2004), a espessura do produto a ser moldado é o parâmetro mais importante para determinar o tempo de permanência da peça na cavidade do molde, de forma a efetivar-se o resfriamento e, na seqüência, a extração da mesma. Referente à homogeneidade térmica na superfície da cavidade, as interações mais relevantes de processo, estão associadas ao número de ciclos necessários para a estabilidade térmica do molde de injeção.

Uma segunda forma de se determinar o dimensional do sistema de refrigeração encontra-se baseada no uso de simulação através de software de CAE, o que possibilita, além do dimensionamento do sistema, a avaliação do mesmo. As simulações possibilitam a antecipação de eventuais problemas referentes ao projeto do sistema de refrigeração e do processo produtivo, antes mesmo de ser realizado o projeto, ou antes, do molde ser construído e testado (*try-out*).

Além do dimensionamento e da avaliação do sistema de refrigeração proposto, a simulação gera informações e dados pertinentes ao processo de injeção como um todo. Possibilitando, apontar a melhor localização e distribuição dos pontos de injeção, dimensionar e verificar desempenho do sistema de alimentação e definir os parâmetros de regulagens do processo em si.

Dimensionado o sistema de refrigeração, há necessidade de verificar a sua eficiência no processo produtivo, essas duas tarefas, quando desenvolvidas empregando-se um software de CAE, torna possível a realização das mesmas simultaneamente.

➤ 3.2- Avaliar a eficiência do(s) sistema(s)/arquitetura(s) pré-definidos. – conforme evidenciado no item anterior, é necessário avaliar a eficiência de um sistema de

refrigeração. A avaliação pode ser desenvolvida de três maneiras distintas: A primeira é desenvolvida durante o próprio processo de injeção, fato não muito oportuno, já que necessita do molde e após sua conclusão (fabricado), pode-se chegar à conclusão de que o molde não atende às necessidades a que se destina, seja relacionada ao processo produtivo ou ao atendimento das características que envolvem o produto moldado, seja em função do dimensional, do acabamento, das propriedades físicas e mecânicas.

A segunda maneira é empregando-se cálculos através de modelos matemáticos, que apresenta certas dificuldades durante o processo de dimensionamento e verificação da eficiência térmica do sistema proposto. Essas dificuldades podem estar relacionadas a diversos fatores, tais como: características do produto moldado, propriedades da matéria-prima, propriedades do material empregado no molde, condições de produção entre outros.

Na terceira, a avaliação pode ser concretizada através da aplicação de software de simulação. De certa forma, é uma maneira eficiente e confiável, mas em função do alto custo de aquisição de softwares, ainda é pouco aplicada. Seu uso restringe-se somente a casos em que as empresas contratantes solicitam o laudo de simulação ou quando a experiência do projetista não é suficiente para garantir a eficiência do processo.

Avaliada e constatada a eficiência do sistema de refrigeração proposto através do emprego de cálculos ou simulação em software de CAE, pode-se dar continuidade ao processo gerando-se o desenho técnico, conforme apresentado no item a seguir.

➤ 3.3- Desenhar o sistema e leiaute que apresentou maior eficiência. – Nessa tarefa, realizam-se os desenhos referentes ao sistema de refrigeração, identificado como o mais eficiente no que tange ao atendimento das necessidades apresentadas pelo cliente.

O desenho tem como finalidade alimentar com informações o processo produtivo, ou seja, fornecer todas as informações necessárias aos profissionais envolvidos na construção do molde. Há necessidade que seja fundamentado nas normas técnicas que regem as representações gráficas do desenho técnico.

Outro dado relevante ao estudo, é que a sistemática proposta permite que a atividade de desenho do sistema de refrigeração, possa ser desenvolvida individualmente ao projeto do projeto do molde, ou seja, quando ocorre uma solicitação de projeto de um sistema de refrigeração de um determinado molde, essa atividade pode ser realizada sem que se desenvolva o projeto do molde como todo.

4.3 Considerações Referentes ao Capítulo

A sistemática proposta neste trabalho foi desenvolvida e detalhada de forma a incorporar as práticas e as recomendações estabelecidas nas literaturas do gênero e nas sugestões de projetistas e especialistas envolvidos com o processo de projeto de moldes de injeção. A proposta tem como objetivo tornar o processo de projeto do sistema de refrigeração mais estruturado e eficaz.

Para verificar a validade, a referida proposta foi apresentada a especialistas envolvidos com as atividades relacionadas a modelos de referência e processos sistemáticos aplicados ao projeto de produto e profissionais envolvidos com o projeto do molde de injeção, com o objetivo de avaliar a sistemática proposta. Os resultados dessa avaliação serão apresentados e discutidos no próximo capítulo.

CAPÍTULO 5

AVALIAÇÃO DA SISTEMÁTICA PROPOSTA PARA O PROJETO DO SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO DO MOLDE PARA INJEÇÃO DE POLÍMEROS

Neste capítulo apresenta-se o procedimento adotado na avaliação da sistemática proposta (abordado no capítulo anterior), juntamente com os resultados e as análises oriundas dessa avaliação.

Estruturou-se o capítulo em quatro tópicos: o primeiro faz referência aos procedimentos adotados durante a referida avaliação, ou seja, ferramentas empregadas, pessoas e empresas envolvidas; o segundo aborda a análise dos resultados, buscando verificar se a sistemática apresenta uma estrutura adequada à atividade proposta, nesse caso, a de nortear as ações dos profissionais (projetistas) envolvidos nas atividades relacionadas ao desenvolvimento e projeto do sistema de refrigeração, o terceiro faz referência à avaliação do próprio método adotado na avaliação da sistemática e o último tópico apresenta as considerações do capítulo.

5.1 Procedimentos Adotados na Avaliação

Para efetivação da avaliação da sistemática proposta, foram adotados dois procedimentos distintos: o primeiro com a apresentação da sistemática através de seminário e um segundo, com o auxílio do correio eletrônico, esta prática se fez necessária para os convidados que não puderam se fazer presentes ao seminário.

✓ **O Seminário** – Realizado na SOCIESC (Sociedade Educacional de Santa Catarina) na cidade de Joinville – SC. Primeiramente foram apresentados os objetivos do seminário aos participantes, na sequência procedeu-se à entrega aos avaliadores de uma cópia do resumo com a proposta da sistemática, onde se encontravam descritas as fases, tarefas e ferramentas envolvidas na proposta, na sequência foi apresentada a proposta, com o auxílio de recurso audiovisual, por final possibilitou-se um momento para retirada de dúvidas e sucedeu-se à avaliação da mesma, através da aplicação de um questionário junto aos participantes (detalhado no item 5.2).

✓ **Correio eletrônico** – foi enviado correspondência por e-mail, onde foram apresentados os objetivos da atividade proposta. Em anexo, foram encaminhados um resumo da sistemática proposta e o questionário adotado para avaliação da proposta.

No contingente de avaliadores convidados encontram-se dois grupos, um formado por projetistas com experiência e conhecimento em projetos de moldes para injeção polímeros, seja, trabalhando na indústria ou em escritórios de projetos e um segundo por especialistas com conhecimento em metodologia de projeto de produtos e/ou de projeto de moldes.

5.1.1 Estrutura da avaliação da sistemática proposta

A avaliação encontra-se estruturada em duas partes distintas, a primeira faz referência à avaliação da sistemática proposta propriamente dito, empregando-se um questionário estruturado (Figura 5.1) e a segunda avalia o método e a ferramenta empregada durante a avaliação da sistemática proposta com auxílio de um segundo questionário (Figura 5.2).

Em relação aos questionários adotados em momentos distintos da avaliação, seja da sistemática, ou do método e ferramenta empregada na avaliação da própria sistemática. Ambos foram planejados de forma a permitir uma coleta de dados quantitativos, para tanto foram estruturadas perguntas “fechadas”, de forma a possibilitar uma comparação direta dos resultados obtidos. Apesar de ser um questionário com perguntas “fechadas” designaram-se campos, permitindo aos avaliadores expressarem suas opiniões e comentários.

O questionário empregado na avaliação da sistemática proposta é apresentado na Figura 5.1.

Avaliação da Sistemática Proposta						
Dados Cadastrais (1)	Responsável pelo preenchimento:					
	Razão social da empresa:					
	Fone:		E-mail:			
	Cargo/Área:					
	Qual é a sua formação acadêmica? <input type="checkbox"/> Graduado. <input type="checkbox"/> Técnico. <input type="checkbox"/> Especialista. <input type="checkbox"/> Outro. Qual?					
	Qual o tempo de experiência em projetos de moldes de injeção? <input type="checkbox"/> Menos de 1 ano. <input type="checkbox"/> De 1 a 5 anos. <input type="checkbox"/> De 6 a 10 anos. <input type="checkbox"/> De 11 a 20 anos <input type="checkbox"/> Mais de 20 anos					
CrITÉRIOS Avaliados (2)	Perguntas a serem Respondidas (3)	Atende Plenamente, (4)	Atende em muitos aspectos, (3)	Atende parcialmente, (2)	Atende a poucos aspectos, (1)	Não atende, (0)
Abrangência	1- A sistemática abrange as áreas de conhecimento necessários ao projeto do sistema de refrigeração?					
	2 - A sistemática abrange os processos necessários ao projeto do sistema de refrigeração?					
Representação / Clareza	3 – A sistemática atende adequadamente a necessidade do projeto do sistema de refrigeração?					
	4 – A forma adotada na representação gráfica da sistemática, quanto à atividade, informações, fases, tarefas e resultados são claras, de fácil identificação, permitindo uma fácil operacionalização?					
Profundidade	5 – O nível de detalhamento aplicado à sistemática em sua atividade, informações, fases, tarefas e resultados são suficientes na orientação ao projeto?					
Consistência	6 – O fluxo das informações encontra-se adequadamente ordenado e especificado?					
Aplicabilidade	7 - A sistemática aplica-se às necessidades das empresas que projetam o sistema de refrigeração?					

Figura 5.1 – Questionário empregado na avaliação da sistemática proposta (continua)

	8 – A sistemática tem aplicação acadêmica com objetivo de auxiliar no desenvolvimento de novos profissionais?					
	9 – A sistemática aplica-se a todos os tipos de sistemas de refrigeração aplicados em moldes de injeção?					
Conteúdo	10 – O conteúdo apresentado na sistemática é suficiente para desenvolver o projeto do sistema de refrigeração?					
	11 – O conteúdo apresentado na sistemática possibilita o gerenciamento eficiente das informações, fases, tarefas e resultados desenvolvidos durante a atividade de projeto do sistema de refrigeração?					
Flexibilidade	12 – A sistemática possibilita interações entre as informações, fases, tarefas e resultados, ou seja, realiza alterações ou inserções, de forma a torná-la eficiente e eficaz no atendimento aos objetivos previamente não definidos?					
Benefício	13 – A sistemática contribuirá no cumprimento quanto aos prazos, de entrega do ferramental ao cliente?					
	14- A sistemática poderá auxiliar na redução de custos de desenvolvimento e fabricação do molde de injeção como um todo?					
	15 – A sistemática garantirá, a execução do projeto do sistema de refrigeração de forma eficiente e eficaz sem a necessidade de retrabalho, assim atendendo às necessidades do cliente?					
	16 – A sistemática permitirá à empresa, a utilização de seus recursos (interno, externo) de forma eficiente e eficaz, durante a atividade do projeto do sistema de refrigeração?					
Comentários e sugestões: (5)						

5.1 – Questionário empregado na avaliação da sistemática proposta (continuação)

Conforme pode ser observado, o questionário empregado na avaliação da sistemática, encontra-se estruturado em cinco campos distintos:

✓ (1) - Dados cadastrais: para o avaliador preencher com dados e informações referentes à empresa participante;

✓ (2) - Critérios avaliados: foram em número de oito os critérios definidos, sendo eles: abrangência; representação/clareza; profundidade; consistência; aplicabilidade; conteúdo; flexibilidade e benefícios. Os sete primeiros critérios encontram-se fundamentados em Vernadat (1996) e o oitavo encontra-se baseado em Sacchelli (2007), critério este relacionado aos benefícios gerados pela sistemática proposta.

✓ (3) - As Perguntas: para cada um dos critérios avaliados, foi elaborada uma ou mais perguntas a serem respondidas pelo avaliador. As perguntas contemplam a necessidade de verificar se a sistemática aplica-se à situação proposta, ou mesmo, se atende aos objetivos propostos inicialmente.

✓ (4) - As respostas: o avaliador, ao ler e interpretar os critérios adotados, na avaliação e na pergunta a ser respondida, opta por escolher uma das alternativas e registrá-la com um (X) de acordo com 5 níveis de atendimento pré-estabelecidos, ou seja: atende totalmente

(nível 4); atende em muitos aspectos (nível 3); atende parcialmente (nível 2); atende em poucos aspectos (nível 1) e não atende (nível 0).

✓ **(5) - Comentários e sugestões:** neste campo os avaliadores expressam os seus comentários e sugestões referentes à sistemática proposta.

Na intenção de verificar a eficácia da metodologia e da ferramenta empregada durante a avaliação da sistemática proposta, elaborou-se e aplicou-se um segundo questionário, este explorado na seqüência do estudo.

5.1.2 Avaliação da metodologia e ferramenta adotada na avaliação da sistemática proposta.

Para avaliar a metodologia e a ferramenta (questionário) empregadas na avaliação da sistemática proposta, foi adotado um segundo questionário de avaliação (Figura 5.2), estruturado de forma similar ao adotado na avaliação da sistemática proposta (Figura 5.1), divergindo quanto ao número de critérios avaliados e perguntas elaboradas.

Avaliação da metodologia adotada na avaliação da sistemática proposta						
Critérios Avaliados	Perguntas a serem Respondidas	Atente Plenamente, (4)	Atende em muitos aspectos, (3)	Atende parcialmente, (2)	Atente a poucos aspectos, (1)	Não atende, (0)
Abrangência	1- O questionário abrange todos os tópicos e critérios necessários à avaliação da sistemática?					
Representação / Clareza	2- O questionário apresenta clareza na sua estruturação de forma a permitir uma fácil avaliação da sistemática?					
Profundidade	3 – O nível de detalhamento apresentado no questionário foi suficiente para avaliar a sistemática proposta?					
Consistência	4 – O fluxo das perguntas encontra-se adequadamente ordenado e especificado?					
Conteúdo	5 – O conteúdo apresentado no questionário possibilita avaliar a sistemática em todos os critérios quanto a sua abrangência?					
Aplicabilidade	6 – Considerando o questionário como ferramenta para avaliação de uma sistemática, pode-se afirmar que:					
Comentários e sugestões:						

Figura 5.2 – Questionário empregado na avaliação da metodologia adotada para avaliar a sistemática proposta

Nessa etapa, o questionário foi estruturado com um número de seis critérios, sendo adotados: abrangência; representação/clareza; profundidade; consistência; conteúdo e aplicabilidade. Para responder às perguntas referentes ao critério, o avaliador procede da mesma forma que no questionário anterior, registrando a opção escolhida com um “X”, de

acordo com os níveis de atendimento.

5.2 Avaliadores da sistemática proposta

A avaliação foi submetida a dois grupos de avaliadores, um deles envolvendo profissionais (avante denominados projetistas) que interagem diretamente no projeto do molde de injeção, principalmente na atividade de projeto do sistema de refrigeração.

Os projetistas aqui representam, as empresas (ferramentarias e escritórios de projeto) convidadas a participarem do evento. Tais empresas encontram-se localizadas, em Santa Catarina mais precisamente na cidade de Joinville, considerada como um dos principais pólos brasileiros envolvidos na atividade de projetos e fabricação de moldes de injeção para materiais poliméricos.

O segundo grupo foi formado por professores universitários e profissionais com conhecimentos teóricos e práticos do processo de desenvolvimento de produtos e das atividades relacionadas ao molde de injeção (aqui denominados Especialistas).

➤ **Grupo: Projetistas** – No primeiro grupo de avaliadores, das vinte e quatro (24) empresas convidadas a participarem da avaliação da sistemática proposta, dezessete (17) delas, através de seus representantes (profissionais envolvidos na atividade de projeto de moldes), retornaram os questionários preenchidos correspondendo a um índice de 70,83% do total.

A apresentação da proposta da sistemática e sua respectiva avaliação, conforme já referenciado, sucederam-se de duas maneiras, uma efetuada durante um seminário e a outra, através do encaminhamento via correio eletrônico. A Opção pelas duas práticas, teve como objetivo obter o maior número possível de participantes no processo de apresentação e avaliação da sistemática proposta, já que, alguns não poderiam se fazer presentes durante o seminário. Essa prática propiciou a participação e colaboração dos dezessete (17) avaliadores citados, sendo que deste, onze (11) participaram no seminário e seis (6) com o auxílio do correio eletrônico.

Na representação gráfica (Figura 5.3), buscou-se traçar um comparativo entre os resultados apurados junto a duas pesquisas desenvolvidas em dois momentos distintos, uma delas com os participantes que colaboraram na identificação das melhores práticas desenvolvidas durante a atividade de projeto do molde de injeção, especificamente no projeto do sistema de refrigeração (apêndice 1) e a outra, com os resultados apurados, junto aos participantes que avaliaram a sistemática proposta para o desenvolvimento da atividade do projeto do sistema de refrigeração.

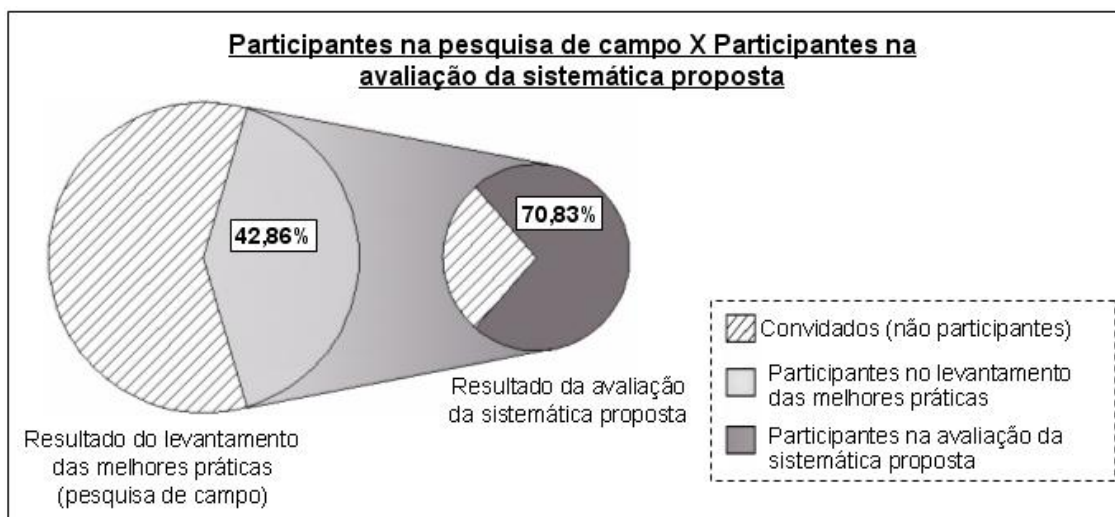


Figura 5.3 – Comparativo entre os números de participantes, na pesquisa de campo na avaliação da sistemática proposta

Comparando-se os números, entre os participantes envolvidos na avaliação da sistemática proposta, com os participantes da pesquisa de campo, durante o levantamento das práticas mais empregadas na atividade de projeto do sistema de refrigeração, foram obtidos os repetitivos resultados.

Das vinte e quatro (24) empresas, ou seja, 42,86% do total de empresas convidadas a participaram inicialmente da pesquisa de campo, retornando os questionários preenchidos por intermédio de seus colaboradores, dezessete (17) participaram na avaliação da sistemática proposta, com o preenchimento e entrega dos questionários sugeridos, ou seja, participaram 70,83% das empresas que participaram da pesquisa de campo.

Outro dado relevante a ser considerado é que, durante a avaliação da sistemática proposta, fizeram-se presentes 30,35% de todo o universo de empresas convidadas a participar da pesquisa de campo (apêndice 1), ou seja, das 56 empresas contatadas inicialmente no levantamento das melhores práticas adotadas no processo de projeto do sistema de refrigeração, 17 participaram da avaliação da sistemática proposta.

A taxa de 30,35% apresentada acima pode ser considerada muito boa, quando levado em consideração o grau de dificuldade de se obter o retorno das pesquisas remetidas durante a pesquisa de campo (apêndice 1). Tais dificuldades podem estar relacionadas ao fato de que: muitas das empresas contatadas não atuam na atividade de projeto de moldes para a injeção de polímeros e sim em usinagem de peças em geral; outras não mais existiam, mas continuavam cadastradas como ferramentarias nos sindicatos e associações da região de Joinville e a questão a ser considerada é quanto à disponibilidade e disposição dos projetistas em preencherem a referida pesquisa de campo.

➤ **Grupo: Especialistas** - No segundo, o grupo de avaliadores especialistas, dos doze (12) convidados a participarem da avaliação da sistemática proposta, houve o retorno de sete (7) pesquisas preenchidas, o que corresponde a um índice de 58,33% de participação.

Esse índice pode ser considerado de certa forma muito bom, levando-se em consideração: a pouca disponibilidade dos avaliadores, seja, em função de seus compromissos ou porque não haviam sido convidados a participarem da pesquisa de campo (apêndice 1), na qual se buscou identificar as melhores práticas adotadas na atividade de projeto do sistema para a refrigeração de moldes.

Não quer dizer que não poderiam ter colaborado com o levantamento das melhores práticas, mas para este momento, o de avaliação da sistemática, as suas sugestões e recomendações seriam muito mais pertinentes, em função dos conhecimentos teóricos e práticos que apresentam, seja no processo de desenvolvimento de produtos ou nas atividades relacionadas ao projeto do sistema de refrigeração.

Os conhecimentos e experiências pertinentes a esse grupo (especialistas), como as do grupo anterior (projetistas), podem ser verificados na sequência do estudo, onde se detalha o perfil de cada avaliador participante.

5.2.1 Perfil dos avaliadores da sistemática proposta

Quanto ao perfil dos avaliadores que participaram da avaliação da sistemática proposta, foram considerados os seguintes elementos: atividade desenvolvida; formação acadêmica e tempo de experiência na atividade envolvendo metodologias de projetos de produtos ou atividade em projeto de moldes de injeção para materiais poliméricos.

As atividades desenvolvidas pelos avaliadores foram classificadas (divididas) em duas: uma apresentando o perfil dos projetistas e a outra, o perfil dos especialistas.

- **Perfil dos avaliadores (Projetistas)** – são os atuantes em setores de projetos na indústria (ferramentaria) e em escritórios especializados em projetos de moldes para injeção de polímeros, conforme descrito na Tabela 5.1

Tabela 5.1 – Perfil dos avaliadores – Projetistas (Continua)

Avaliador	Perfil do avaliador
P- 01	Tecnólogo em mecânica, com experiência compreendida entre 1 e 5 anos na atividade envolvendo projetos de moldes.
P- 02	Engenheiro mecânico, com experiência compreendida entre 6 e 10 anos na atividade envolvendo projetos de moldes.
P- 03	Tecnólogo em mecânica, com experiência compreendida entre 1 e 5 anos na atividade envolvendo projetos de moldes.
P- 04	Tecnólogo em mecânica, com experiência compreendida entre 11 e 20 anos na atividade envolvendo projetos de moldes.
P- 05	Técnico em mecânica, com experiência compreendida entre 11 e 20 anos na atividade envolvendo projetos de moldes.
P- 06	Técnico em mecânica, com experiência compreendida entre 1 e 5 anos na atividade envolvendo projetos de moldes.
P- 07	Tecnólogo em mecânica, com experiência compreendida entre 1 e 5 anos na atividade envolvendo projetos de moldes, atualmente trabalha como ornamentista e analista de processo.

Tabela 5.1 – Perfil dos avaliadores – Projetistas (Continuação)

P- 08	Engenheiro mecânico e especialista em projetos de molde, com experiência compreendida entre 11 e 20 anos na atividade envolvendo projetos de moldes, atualmente trabalha como ornamentista e analista de processo.
P- 09	Técnico em mecânica, com experiência compreendida entre 11 e 20 anos na atividade envolvendo projetos de moldes.
P- 10	Técnico em mecânica, com mais de 20 anos de experiência na atividade envolvendo projetos de moldes.
P- 11	Tecnólogo em mecânica, com experiência compreendida entre 11 e 20 anos na atividade envolvendo projetos de moldes.
P- 12	Engenheiro mecânico, com experiência compreendida entre 6 e 10 anos na atividade envolvendo projetos de moldes.
P- 13	Tecnólogo em mecânica, com experiência compreendida entre 6 e 10 anos na atividade envolvendo projetos de moldes.
P- 14	Técnico em mecânica, com mais de 20 anos de experiência na atividade envolvendo projetos de moldes.
P- 15	Projetista com mais de 20 anos de experiência de adquiridos ao longo dos anos de experiência.
P- 16	Engenheiro mecânico e especialista em projetos de molde, atualmente sócio e gerente de um escritório de projetos de moldes de injeção, atuando a mais de 20 anos na atividade de projetos.
P- 17	Tecnólogo em mecânica, atualmente sócio e gerente de um escritório de projetos de moldes de injeção, atuando a mais de 20 anos na atividade de projetos.

Analisando os dados levantados na Tabela 5.1, elaborou-se um gráfico, representado na Figura 5.4, que mostra a relação existente entre a formação acadêmica e o tempo de experiência na atividade de projetos de molde de injeção de materiais poliméricos.

Nessa análise, verifica-se que treze (13) avaliadores possuem mais de seis (6) anos de experiência na atividade de projeto de moldes para injeção de polímeros. Desse número, sete (7) possuem curso de graduação e dois (2), além da graduação têm uma especialização na área afim. Ainda se percebe na análise um único caso onde o avaliador possui mais de 20 anos de experiência, mas não possui uma formação específica.

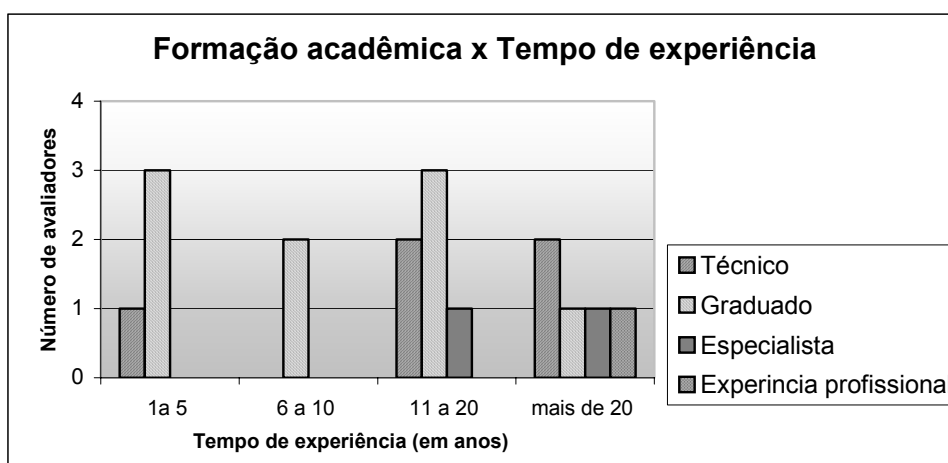


Figura 5.4 – A formação acadêmica X o tempo de experiência (Projetista)

• **Perfil dos avaliadores (Especialistas)** – Faz-se referência aos avaliadores que apresentam conhecimentos e experiências tanto em metodologias de projetos de produtos como em processos que envolvem o molde para injeção de polímeros, além que atual em instituições de ensino e pesquisa (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Perfil dos avaliadores – Especialistas

Avaliador	Perfil do avaliador
E-01	Engenheiro mecânico e mestrando em engenharia mecânica pela SOCIESC, na área de processos de fabricação. Coordenador e professor no curso de tecnologia em mecânica na SOCIESC. Experiência de 4 anos.
E-02	Engenheiro químico, mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela UFSC e doutorando em engenharia de materiais na UFSC. Atualmente é coordenador e professor na SOCIESC. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, com ênfase em Processamento de Polímeros, atuando principalmente nos seguintes temas: nanocompósitos, propriedades mecânicas, processo de injeção, simulação de injeção e reciclagem, contando com uma experiência de 15 anos.
E-03	Engenheiro Mecânico, graduado pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, doutor em Engenharia Mecânica pela UFSC e pós-doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade de São Paulo. Atualmente é professor adjunto da Universidade do Estado de Santa Catarina. Experiência na área de Engenharia Mecânica, com ênfase em Desenvolvimento de Produto, atuando principalmente nos seguintes temas: desenvolvimento de produtos, gestão de desenvolvimento de produto, processo de desenvolvimento de produtos, produtos modulares e projeto de produtos. Com 5 anos de experiência nas atividades relacionadas.
E-04	Graduado em Ciências Tecnológicas pela Universidade do Estado de Santa Catarina, mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade do Estado de Santa Catarina e doutorando em engenharia de materiais na UFSC. Atualmente é professor titular do Cefet/SC, atuando como professor nas disciplinas de projeto de moldes e ferramentas de estampo, leciona a 7 anos.
E-05	Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, mestre em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC, e Doutor em Engenharia Mecânica na Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Atualmente é professor titular do Cefet/SC e Univille. Atua na área de Engenharia de Produto, com ênfase em Metodologia de Desenvolvimento de Produtos a 14 anos.
E-06	Graduado em Engenharia de Produção Mecânica e mestre em engenharia de produção pela Universidade Metodista de Piracicaba UNIMEP; doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade de São Paulo EESC USP. Atualmente é professor da Sociedade Educacional de Santa Catarina SOCIESC e coordena o curso de Mestrado em Engenharia Mecânica. Atua e coordena diversos projetos de pesquisa, envolvendo temas relativos à fabricação produtos contendo formas complexas, focando a cadeia CAD/CAM/CNC - fabricação de moldes e matrizes. É líder do grupo de pesquisa Desenvolvimento de Moldes e Matrizes da SOCIESC. Com 12 anos de experiência
E-07	Graduado e mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Santa Catarina. Especialista em Administração de Empresas pela Universidade da Região de Joinville (1996). Experiência de 13 anos em projeto de moldes. Atualmente é diretor e editor da revista Ferramental e diretor da Brtooling Consultoria Ltda., atuando principalmente nos seguintes temas: molde, custo, tecnologias, concorrência e plásticos.

Analisando os dados levantados na Tabela 5.2, elaborou-se um gráfico (Figura 5.5), demonstrando a relação existente entre a formação acadêmica e o tempo de experiência dos especialistas envolvidos durante o processo de avaliação da sistemática proposta.

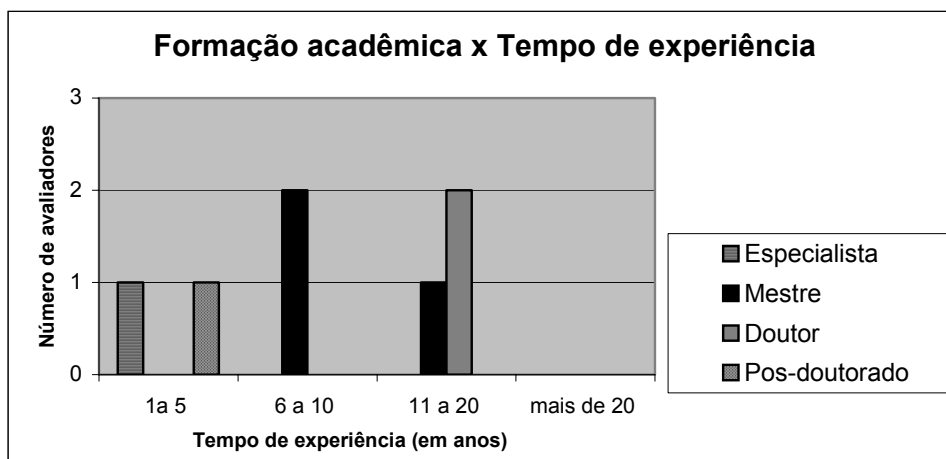


Figura 5.5 – A Formação acadêmica X o Tempo de experiência (Especialista)

Entre os sete (7) participantes, verifica-se que cinco (5) avaliadores possuem mais de seis anos de experiência ou afinidade com a atividade de projeto de moldes para injeção de polímeros, sendo que deste grupo, três (3) são mestres e dois (2) doutores. Encontram-se ainda nesse grupo, com experiência entre um e cinco anos, dois (2) avaliadores: sendo que, um é especialista em fabricação e outro, pós-doutor com experiência em metodologias de projetos de produtos.

Apresentado o perfil dos avaliadores, na sequência são demonstrados os resultados apurados junto às avaliações realizadas.

5.3 Critérios adotados na análise dos resultados apurados na avaliação

Para realizar a análise dos resultados apurados junto aos critérios avaliados, foi necessário definir a metodologia empregada na avaliação:

➤ Resultados muito bons, ($4 \geq \text{média} \geq 3$), para os critérios que apresentam média com **nível quatro** (atende plenamente) e com **nível três** (atende em muitos aspectos), pois tais níveis sugerem poucas modificações na sistemática proposta;

➤ Resultados satisfatórios, ($2 \leq \text{média} < 3$), para aqueles critérios que apresentarem médias compreendidas entre estes níveis (atende parcialmente), portanto, tais critérios requerem atenção por parte do pesquisador, pois sugere correções ou aperfeiçoamento leves na sistemática proposta;

➤ Resultados inadequados, ($0 \leq \text{média} < 2$), para aqueles critérios avaliados que apresentam médias inferiores ao **nível dois**, ou seja, as médias relacionadas ao parecer de **nível um** (atende em poucos aspectos) e **nível zero** (não atende). Tais médias significam que o critério adotado apresenta grandes deficiências. Logo, a sistemática proposta deve ser modificada nos critérios deficientes, para que possa ser adequadamente empregada na atividade proposta. A análise dos resultados apurados durante a avaliação é apresentada na sequência do estudo.

5.4 Apresentação dos resultados da avaliação da sistemática

Para analisar os resultados obtidos junto aos questionários de avaliação, foram elaboradas tabelas no programa *Microsoft Excel*, que apresentam resultados tanto de forma individual (por critério), agrupadas de acordo com os grupos de avaliadores (projetistas e especialistas), quanto na forma agrupada (todos os resultados reunidos), apresentando a média atingida em cada um dos critérios avaliados, de acordo com o nível de atendimento.

Para análise dos dados, além de serem determinadas as médias, foi verificada a diferença existente entre as médias atribuídas a cada pergunta, dados que propiciam a confirmação dos resultados, comparando-os com a metodologia proposta.

5.4.1 Resultados da avaliação segundo análise dos projetistas

Na tabela 5.3, são apresentados os resultados apurados junto aos avaliadores que compõem o grupo de projetistas. Na análise dos resultados, verifica-se que a **média geral** atingiu **3,24** (três vírgula vinte e quatro), apresentando uma diferença entre médias atribuídas de **0,36** (trinta e seis centésimos), ou seja, o resultado apresentado pode ser considerado muito bom, já que essa média encontra-se inserida nos valores pré-estabelecidos inicialmente na metodologia de avaliação e a diferença entre médias atribuídas foi relativamente baixa.

Desse modo, pode-se afirmar que a sistemática proposta para o projeto do sistema de refrigeração, na opinião dos projetistas, de uma forma geral atende aos objetivos propostos inicialmente.

Tabela 5.3 – Resultados individuais da avaliação da sistemática proposta (Projetista)

		Perguntas realizadas																Média por avaliador
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Avaliadores (Projetistas)	P-01	3	4	4	3	2	3	3	4	2	2	4	3	3	4	2	3	3,06
	P-02	4	3	4	2	3	2	3	4	4	2	3	4	2	2	3	3	3,00
	P-03	4	3	2	4	3	3	4	4	3	3	3	4	4	4	2	3	3,31
	P-04	4	3	3	4	4	2	3	4	4	4	4	3	2	3	4	4	3,44
	P-05	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	4	4	2	4	3	3	3,38
	P-06	4	3	4	3	3	4	3	2	3	4	3	3	2	4	3	4	3,25
	P-07	3	2	2	3	3	3	4	4	4	2	3	2	2	2	3	3	2,81
	P-08	3	3	3	2	2	3	2	3	2	2	3	3	2	3	2	2	2,50
	P-09	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3,56
	P-10	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	3	4	3	3	3	3,38
	P-11	3	4	4	3	3	4	3	4	3	3	4	4	2	3	3	4	3,38
	P-12	4	4	3	3	4	4	4	3	3	4	4	3	3	4	3	4	3,56
	P-13	4	4	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	2	3	2	4	3,19
	P-14	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3,88
	P-15	3	4	2	3	3	4	3	4	3	3	3	3	2	3	2	3	3,00
	P-16	4	3	4	4	3	4	4	4	3	3	4	4	3	4	3	4	3,63
	P-17	3	3	3	3	3	3	2	3	2	2	3	3	2	3	2	3	2,69
Média por perguntas		3,47	3,29	3,24	3,24	3,18	3,41	3,35	3,59	3,12	3,00	3,53	3,29	2,59	3,29	2,76	3,41	3,24
Diferença entre as notas atribuídas		0,51	0,59	0,75	0,66	0,64	0,71	0,70	0,62	0,70	0,79	0,51	0,59	0,80	0,69	0,66	0,62	0,36

Observando-se ainda a Tabela 5.3, verificam-se que, duas situações chamam a atenção, uma quanto às médias atribuídas a cada critério avaliado e uma segunda quanto à média atribuída a sistemática pelo avaliador (individual):

- **Média referente a cada critério avaliado** - nos resultados apurados, verifica-se que duas perguntas relacionadas ao critério de **benefícios** atingiram a média inferior a **3,0** (três). O fato deu-se nas perguntas de números 13 e 15. As médias, segundo a opinião dos avaliadores, foram **2,59** (dois vírgula cinquenta e nove) para a pergunta 13 (a sistemática contribuirá no cumprimento quanto aos prazos, de entrega do ferramental ao cliente?) e **2,76** (dois vírgula setenta e seis) para a pergunta 15 (A sistemática garantirá a execução do projeto do sistema de refrigeração de forma eficiente e eficaz sem a ocorrência de re-trabalho, atendendo às necessidades do cliente?).

- **Média atribuída pelo avaliador (individual)** – nessa análise, verifica-se que, do grupo de avaliadores, três atribuíram conceitos que geraram médias inferiores a 3,0 (três), mais precisamente nos níveis compreendidos entre 2,0 (dois) e 3,0 (três), considerado satisfatório, em função dos critérios de avaliação pré-estabelecidos (item 5.3 deste capítulo). Portanto os avaliadores consideraram que a sistemática necessita de alguma atenção, assim fazendo-se necessárias leves correções ou mesmo aperfeiçoamento na estrutura da proposta, mas as correções e aperfeiçoamentos não foram esclarecidos durante o preenchimento da pesquisa.

Além das respostas registradas nos tópicos abordados durante a avaliação por este grupo, foram acrescentados os seguintes comentários e sugestões pertinentes à sistemática proposta:

“A sistemática está muito bem descrita e elaborada de forma evolutiva, apenas acrescento que hoje, em alguns casos, em função da complexidade e particularidade dos moldes e das peças a serem injetadas, torna-se essencial à simulação em software específico (mold flow), tanto para a injeção, quanto ao sistema de refrigeração, para definição do projeto do molde de injeção. É apenas um comentário construtivo”. (Projetista 08)

“A sistemática aparentemente apresenta-se muito bem estruturada, o que de certa forma pode auxiliar os projetistas principalmente os inexperientes, na atividade de projeto”. (Projetista 09)

“A sistemática proposta, por mais abrangente que seja, sempre surgirão situações específicas a determinado tipo de produto a ser injetado, isto devido a formas geométricas complexas, onde o projetista deverá ter bagagem de conhecimento suficiente, para poder desenvolver (projetar) circuitos de refrigeração que atendam a condição imposta pelo produto”. (Projetista 15)

“Mesmo a sistemática possibilitando a orientação de forma adequada ao projeto, é necessário estar ciente que sua aplicação envolve pessoas e estas dependem de fatores como o emocional”. (Projetista 16)

5.4.2 Resultados da avaliação segundo análise dos especialistas

Os resultados apresentados na Tabela 5.4 refletem os dados apurados junto aos especialistas. Na análise realizada, observa-se que a média geral para esse grupo de avaliadores atingiu o conceito **3,44** (três vírgula quarenta e quatro), apresentando uma diferença entre as médias atribuídas de **0,21** (vinte e um centésimos). O resultado apresentado pode ser considerado muito bom, já que essa média também encontra-se inserida nos valores pré-estabelecidos na metodologia empregada para análise das respostas efetuadas pelos avaliadores e a diferença entre as médias atribuídas foi relativamente baixa.

Pode-se dizer que a sistemática proposta para o projeto do sistema de refrigeração de uma forma geral atende aos objetivos propostos inicialmente, na opinião dos especialistas.

Tabela 5.4 – Resultados individuais da avaliação da sistemática proposta (Especialistas).

		Perguntas realizadas																Média por avaliador
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Avaliadores (Especialistas)	E-01	4	3	4	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	2	3	3,19
	E-02	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	3,81
	E-03	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3,56
	E-04	3	3	4	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3,25
	E-05	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	4	3	4	3	3	3	3,50
	E-06	3	3	4	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	3	4	3,31
	E-07	4	3	4	3	3	3	4	4	3	3	3	3	4	4	2	3	3,45
Média por perguntas		3,71	3,29	4,00	3,29	3,29	3,57	3,43	4,00	3,29	3,43	3,71	3,14	3,57	3,43	2,71	3,29	3,44
Desvio Padrão		0,49	0,49	0,00	0,49	0,49	0,53	0,53	0,00	0,49	0,53	0,49	0,38	0,53	0,53	0,49	0,49	0,21

Ainda analisando-se os resultados apurados na tabela, verifica-se que o critério **benefícios**, mais precisamente na pergunta de número 15 (a sistemática garantirá a execução do projeto do sistema de refrigeração com eficiência e eficácia sem a ocorrência de re-trabalho, assim atendendo as necessidades do cliente?), a média foi de **2,71** (dois vírgula setenta e um), o que sugere a necessidade de uma reavaliação no item. Considerando-se essa média como satisfatória, há necessidade de se realizar uma correção ou mesmo uma atividade para o aperfeiçoamento no critério de benefícios.

Quanto à média atribuída individualmente pelos avaliadores, percebe-se que todos os avaliadores atribuíram conceitos que geraram uma média acima do valor mínimo estipulado **3,0** (três), fato que leva a afirmar que, de uma forma geral, os especialistas consideram a sistemática proposta muito boa.

Juntamente aos resultados apresentados por este grupo de avaliadores, foram registrados os seguintes comentários e sugestões, pertinentes a sistemática proposta:

“A sistemática proposta é muito interessante, seria importante aplicá-lo em um estudo de caso, pois a avaliação de sua eficiência ficaria muito mais evidente”. (Especialista 02)

“Sugere-se a inclusão, no documento da dissertação, de diretrizes para as empresas ou usuários de como a sistemática pode colaborar para cada um destes 16 itens (talvez um item de análise crítica da sistemática ao final de sua apresentação). Os pontos perdidos em minha avaliação referem-se ao fato de que a sistemática, por si só, não resolve todos estes problemas. Muito do resultado depende da eficiência da empresa e de seu rigor no uso da sistemática proposta”. (Especialista 03)

“Uma leitura mais completa da sistemática poderia permitir uma avaliação mais criteriosa”. (Especialista 04)

“O trabalho encontra-se muito bem elaborado, levando em consideração a importância do tema abordado, considerando-se ainda que sua implementação através de software contribuiria no gerenciamento do processo além de que poderia reduzir consideravelmente o tempo envolvido no processo”. (Especialista 06)

“Algumas pontuações não estão no máximo, pois dependem do usuário e não unicamente da sistemática proposta”. (Especialista 07)

5.4.3 Comparação da análise dos projetistas X especialistas

O resultado final, em relação às respostas de acordo com as análises dos grupos envolvidos (projetistas e especialistas) na avaliação da sistemática proposta são apresentados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5 – Resultados de acordo com análise dos projetistas e especialistas

	Perguntas																Média final
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Média Projetista	3,47	3,29	3,24	3,24	3,18	3,41	3,35	3,59	3,12	3,00	3,53	3,29	2,59	3,29	2,76	3,41	3,24
Média Especialista	3,71	3,29	4,00	3,29	3,29	3,57	3,43	4,00	3,29	3,43	3,71	3,14	3,57	3,43	2,71	3,29	3,44
Média final por pergunta	3,59	3,29	3,62	3,26	3,23	3,49	3,39	3,79	3,20	3,21	3,62	3,22	3,08	3,36	2,74	3,35	3,34
Diferença entre as médias atribuídas	0,24	-	0,76	0,05	0,11	0,17	0,08	0,41	0,17	0,43	0,18	0,15	0,98	0,14	0,05	0,11	0,20

Considerando-se os dois grupos de avaliadores (projetistas e especialistas), verifica-se que a média final para a avaliação da sistemática proposta foi de **3,34** (três vírgula trinta e quatro). Esta média encontra-se vinculada ao critério de resultados muito bons, ou seja, ($4 \geq \text{média} \geq 3$), portanto, pode-se afirmar que a sistemática atende de forma adequada aos critérios avaliados e aos objetivos propostos na dissertação.

Observando-se os resultados na tabela, verifica-se que os dois grupos de avaliadores concordam em gênero, em relação à pergunta de número 15 (A sistemática garantirá, a execução do projeto do sistema de refrigeração de forma eficiente e eficaz sem a necessidade de retrabalho, assim atendendo as necessidades do cliente?). Considerando-se que a garantia sugerida na pergunta, não está unicamente ligada à sistemática proposta, mas apresentam outros fatores preponderantes. Fatores como a eficiência, da empresa e

dos profissionais envolvidos na aplicação da mesma de forma adequada, muito bem observado durante a avaliação pelo projetista (P-16) e especialista (E-03), durante os comentários e sugestões propostas.

A Figura 5.6 apresenta um gráfico comparativo, entre as médias atribuídas em função das análises realizadas pelos grupos de avaliadores, onde se verifica que os resultados referentes às perguntas de número 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 14, 15 e 16 encontram-se muito próximos quando não iguais, apresentando uma diferença entre as médias relativamente baixa, ou seja, inferiores a **0,25** (vinte e cinco centésimos), como podem ser observadas na Tabela 5.5.

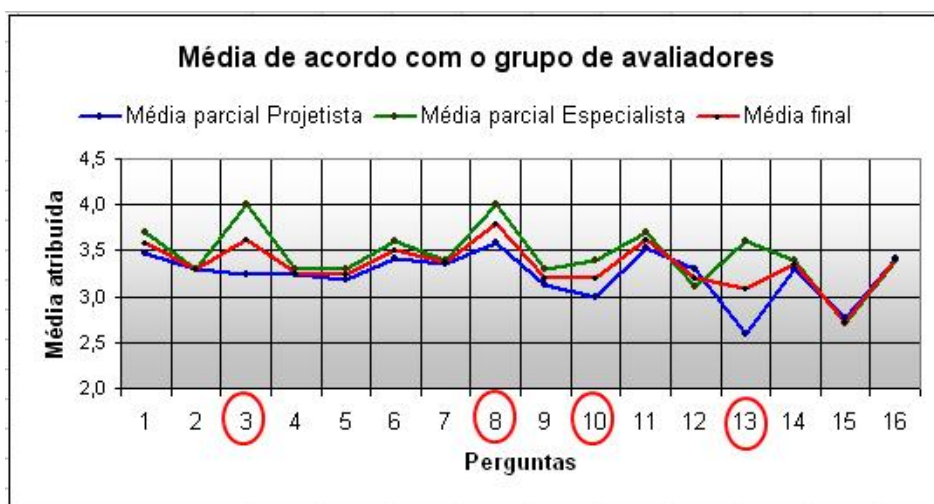


Figura 5.6 – Média atribuída de acordo com a análise dos grupos de especialistas em função dos critérios avaliados.

Nas perguntas de número 3, 8, 10 e 13, verificaram-se os maiores valores para a diferença entre as médias atribuídas, ou seja, percebe-se que ocorrem divergências quanto à forma de interpretar ou mesmo de ponto de vista quanto aos critérios avaliados.

Considerando-se que a sistemática proposta, de forma geral, atende aos critérios avaliados, optou-se por tecer comentários somente para os critérios que apresentaram divergência acentuada nos resultados. Para tanto, as discussões dos resultados estão focados nas médias que apresentam uma diferença superior ou igual a 0,25 (vinte e cinco centésimos). Essas diferenças são verificadas conforme já referenciadas nas perguntas de número 3, 8, 10 e 13, respectivamente, relacionadas aos critérios de:

➤ **Representação e clareza (pergunta 03):** mesmo com a média geral de 3,62 (três vírgula sessenta e dois) acima dos critérios definidos no item 5.2 desse capítulo. Verifica-se uma diferença de 0,76 (setenta e seis centésimos) entre as médias atribuídas pelos grupos de avaliadores. Nesse item, os avaliadores do grupo de especialistas atribuíram nota máxima de 4,0 (quatro) ao critério, já o grupo de projetista atribuiu uma nota inferior correspondente a 3,24 (três vírgula vinte e quatro) conforme pode ser observado na Tabela 5.5. Diante ao exposto, pode-se concluir que os projetistas não identificaram o quanto à sistemática proposta representa adequadamente a necessidade do projeto do sistema de

refrigeração. Já os especialistas foram unânimes em afirmar que a sistemática atende plenamente a este critério. Tal diferença pode ser atribuída a fatores diversos, como: falta de conhecimento sobre o conteúdo que aborda modelos de referências; quebra de paradigmas (mais uma ferramenta de trabalho, projetar apreende-se com a prática); nunca ter trabalhado empregando um modelo ou uma sistemática em alguma atividade de trabalho; não identificar as contribuições que a sistemática pode apresentar, entre outros.

➤ **Aplicabilidade (pergunta 08):** bem similar à anterior, mesmo com a média geral de 3,79 (três vírgula setenta e nove), onde para os projetistas não ficou tão evidente como a sistemática se aplicaria no contexto acadêmico, auxiliando na formação de novos profissionais na área. Quanto aos especialistas, foram unânimes em afirmar que a sistemática proposta atende plenamente a esse critério. Tal diferença entre as médias de 0,41 (quarenta e um centésimos), pode ser atribuída à dificuldade de se encontrar no mercado, recém-formados que tenham condições de desenvolver projetos de moldes (de acordo com conversas informais junto aos avaliadores mais experientes), mesmo quando considerados de baixa complexidade. Essa dificuldade pode estar vinculada à pergunta anterior, onde o recém formado, mesmo apresentando alguma experiência, tem dificuldades em relacionar quais os procedimentos a serem adotados durante a fase de projeto, como exemplo pode ser citado o sistema de refrigeração, considerando-se que cada produto pode apresentar a necessidade de sistemas e arquiteturas diferenciadas.

➤ **Conteúdo (pergunta 10):** nesse critério apurou-se uma média geral de 3,21 (três vírgula vinte e um). A diferença entre as médias nesta pergunta foi de 0,43 (quarenta e três centésimos). Neste caso as duas médias atribuídas tanto pelo grupo de avaliadores projetistas (média 3,0), quanto o de especialistas (média 3,43), apresentam-se acima do estipulado no critério de avaliação (3,0), indicando que o critério atende em muitos aspectos. Isto é, ambos os grupos consideraram o conteúdo da sistemática suficiente para desenvolver o projeto do sistema de refrigeração. Nesse contexto, observa-se que alguns avaliadores do grupo de projetistas tiveram dificuldades de identificar se a sistemática apresenta conteúdo suficiente para desenvolver o projeto do sistema de refrigeração. Quanto ao motivo, que levou a este resultado, não foi possível identificar durante análise realizada, na avaliação preenchida pelos grupos de avaliadores.

➤ **Benefícios (pergunta 13):** foi o critério que mais apresentou divergências entre os grupos de avaliadores, apresentando uma diferença de 0,98 (noventa e oito centésimos) entre as médias atribuídas pelos grupos de avaliadores. Para os projetistas, a sistemática contribuirá de forma satisfatória com uma média de 2,59 (dois vírgula cinquenta e nove), no comprimento dos prazos de entrega do ferramental aos clientes. De acordo com os especialistas, esse critério apresenta-se de forma muito boa apresentando uma média de

3,57 (três vírgula cinquenta e quatro). De acordo com observações realizadas por seis avaliadores, torna-se difícil essa análise, pois tal critério depende muito do próprio projetista, ou seja, no seu comprometimento com a utilização da sistemática proposta.

Concluído o processo de avaliação da proposta, na sequência do estudo são apresentados os resultados da avaliação da metodologia empregada para na sistemática proposta.

5.5 Apresentação dos resultados da avaliação da metodologia empregada na avaliação da sistemática proposta

Nas Tabela 5.6 e 5.7 são apresentados os resultados da avaliação do processo empregado para validar a proposta da sistemática, de acordo com a análise realizada pelos grupos de avaliadores.

Tabela 5.6 – Resultados da avaliação da ferramenta empregada na avaliação da sistemática, de acordo com análise dos projetistas.

		Perguntas realizadas						Média por avaliador
		1	2	3	4	5	6	
Avaliadores (Projetistas)	P-01	4	3	3	4	4	4	3,67
	P-02	3	3	4	3	3	2	3,00
	P-03	2	4	4	4	2	4	3,33
	P-04	4	3	2	3	3	4	3,17
	P-05	4	4	4	4	4	3	3,83
	P-06	4	4	4	4	4	4	4,00
	P-07	3	4	3	4	3	4	3,50
	P-08	3	3	2	3	2	3	2,67
	P-09	4	3	4	4	3	3	3,50
	P-10	3	4	3	3	3	3	3,17
	P-11	4	3	3	3	3	4	3,33
	P-12	4	4	3	4	4	3	3,67
	P-13	3	3	2	3	4	3	3,00
	P-14	4	4	4	4	4	4	4,00
	P-15	3	4	2	3	2	4	3,00
	P-16	4	4	4	4	2	2	3,33
	P-17	3	3	3	2	2	3	2,67
Média por pergunta		3,47	3,53	3,18	3,47	3,06	3,35	3,3
Diferença entre as médias atribuídas		0,62	0,51	0,81	0,62	0,83	0,70	0,41

Na Tabela 5.6, de acordo com os resultados das **análises realizadas pelo grupo de avaliadores (projetistas)**, verifica-se que as médias relacionadas às perguntas, encontram-se inseridas no critério que considera a metodologia empregada no processo de avaliação como atendendo aos critérios de abrangência, representação/clareza, produtividade, conteúdo e aplicabilidade. Ainda analisando-se os resultados, destacam-se as médias individuais de dois avaliadores, correspondente a 11,76% do grupo de avaliadores, onde, de

acordo com a metodologia de avaliação empregada, e sob o ponto de vista deles, a ferramenta aplicada na avaliação atende de forma parcial.

Mesmo considerando que as médias individuais dos avaliadores (P-08 e P-17) tenham influenciado no resultado parcial da avaliação, pode-se afirmar que a ferramenta aplicada atende satisfatoriamente aos critérios avaliados de acordo com a análise desse grupo.

Nos resultados da avaliação, em função da **análise do grupo dos profissionais (especialistas)**, na Tabela 5.7, verifica-se que uma das médias relacionadas às perguntas realizadas, mais precisamente à pergunta de número 06, encontra-se inserida no critério que considera a metodologia empregada no processo de avaliação atende parcialmente aos aspectos relacionados ao critério de avaliação, quanto as demais perguntas, as de número 1, 2, 3, 4 e 5, estas encontram-se relacionadas ao critério que atendem a muitos aspectos.

Por outro lado, em relação às médias individuais, os avaliadores consideram que, a metodologia empregada (questionário) no processo para avaliar a sistemática proposta atendeu a muitos aspectos relacionados às perguntas e aos critérios avaliados.

Tabela 5.7 – Resultados da avaliação da ferramenta empregada na avaliação da sistemática proposta, de acordo com a análise dos especialistas

		Perguntas realizadas						Média por avaliador
		1	2	3	4	5	6	
Avaliadores (Especialista)	E-01	3	3	4	4	3	2	3,17
	E-02	3	3	3	4	4	2	3,17
	E-03	4	4	4	4	4	3	3,83
	E-04	4	3	3	3	2	4	3,17
	E-05	4	3	4	4	3	3	3,50
	E-06	3	4	4	4	3	3	3,50
	E-07	4	3	4	4	3	3	3,50
Média por pergunta		3,57	3,29	3,71	3,86	3,14	2,86	3,4
Diferença entre as médias atribuídas		0,535	0,488	0,488	0,378	0,69	0,69	0,25

A tabela 5.8 apresenta a comparação entre as médias apuradas junto aos grupos de avaliadores. Percebe-se que, tanto o grupo de avaliadores projetistas quanto o grupo de especialistas concordam que a metodologia empregada na avaliação da sistemática proposta atende de forma satisfatória. O avaliador (E-02) sugere que, para melhor comprovação, a sistemática necessitaria ser aplicada em um estudo de caso.

Ainda na Tabela 5.8, verifica-se que a maior diferença entre as médias relacionadas aos dois grupos de avaliadores encontra-se na pergunta de número 06, relacionada ao critério de aplicabilidade (Considerando o questionário como ferramenta para avaliação de uma sistemática, pode-se afirmar que:).

Tabela 5.8 – Comparação dos resultados da avaliação da ferramenta empregada na avaliação da sistemática proposta

	Perguntas realizadas						Média por grupo de avaliadores
	1	2	3	4	5	6	
Média por pergunta (projetista)	3,47	3,53	3,18	3,47	3,06	3,35	3,34
Média por pergunta (especialista)	3,57	3,29	3,71	3,86	3,14	2,86	3,40
Média final	3,50	3,40	3,40	3,70	3,10	3,10	3,35
Diferença entre as médias atribuídas	0,10	0,24	0,53	0,39	0,08	0,39	0,06

Em função dos resultados apresentados, conclui-se, de acordo com as análises que envolvem os dois grupos de avaliadores, que o processo de avaliação empregado para verificar e estratificar a eficiência da ferramenta empregada no processo de avaliação da sistemática proposta atende de forma satisfatória.

Finalizado o processo de avaliação da sistemática sugerida para a atividade de projeto do sistema de refrigeração, em seguida serão apresentadas as considerações referentes ao capítulo.

5.6 Considerações Referentes ao Capítulo

A primeira parte dos comentários do capítulo refere-se aos procedimentos adotados para a avaliação da sistemática proposta, explicitando-se os procedimentos e ferramentas empregadas no processo de avaliação.

Na segunda parte foram apresentadas as divisões dos grupos de avaliadores, juntamente com seus respectivos perfis, abordando-se a formação do profissional, as áreas de atuação, o tempo de experiência nas atividades relacionadas: ao projeto do molde de injeção; aos processos de fabricação de produtos à base de materiais poliméricos e com as metodologias de projetos de produtos.

Na sequência, abordaram-se os resultados das avaliações obtidos junto às respostas dos grupos de avaliadores. Nesse item verifica-se que os critérios avaliados tiveram boa aceitação por parte dos avaliadores, tanto no que se refere à avaliação individual, quanto à realizada em função das médias apresentadas pelos grupos de avaliadores de acordo com as perguntas realizadas. Também ficou evidenciada, através dos comentários e sugestões referentes a sistemática proposta, a relevância do tema para o bom desenvolvimento do processo de projeto do moldes de injeção.

No quarto e último item foram abordados os resultados referentes à avaliação da metodologia empregada na avaliação da sistemática. Os resultados também foram apurados junto às respostas dos grupos de avaliadores, em função das análises realizadas pelos mesmos. Verificou-se uma aceitação quanto aos critérios avaliados, tanto no que se refere à avaliação individual, quanto à realizada pelas médias apresentadas pelos grupos de

avaliadores em função das perguntas realizadas. Também ficou evidenciada que seria importante a aplicação da sistemática em um estudo de caso e a formatação do mesmo para ser aplicado em um software, possibilitando maior agilidade no processo.

Ao final deste capítulo, considera-se que os resultados apurados nas avaliações tiveram o conceito entre os níveis 3 e 4, conforme estipulado nos critérios de avaliação, ou seja, apresentarem-se positivos. Assim indicando que a sistemática proposta para o projeto do sistema de refrigeração do molde para injeção de polímeros atingiu o seu propósito, de modo a deixar evidentes as informações e as atividades envolvidas no processo de projeto, de modo a servir como fonte norteadora à prática do processo, tanto no que se refere à preparação de novos profissionais, como na atualização dos que já se encontram inseridos no processo.

Considera-se que a questão da pesquisa foi plenamente respondida, considerando-se que a adoção de uma proposta sistêmica, estando baseadas em ações sistematizadas e ordenadas, contribuirá de forma eficaz no processo de projeto do sistema de refrigeração do molde para injeção de polímeros, possibilitando atender às necessidades e características do projeto do produto e processo produtivo envolvido.

No próximo e último capítulo, são apresentadas as considerações finais da dissertação e as recomendações para trabalhos futuros.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Conclusões

A presente dissertação teve como objetivo principal, desenvolver uma sistemática como fonte norteadora, às ações das equipes envolvidas durante a atividade de projeto dos sistemas de refrigeração, aplicados em moldes para injeção para polímeros.

A pesquisa, no início, buscou, através dos estudos realizados nos trabalhos e literaturas existentes, melhor compreensão da amplitude, da relação e da interação do ferramental (molde de injeção) com o processo produtivo. Nesse sentido, não se pode deixar de referenciar os sistemas que compõem o molde de injeção, sistemas como o de alimentação, extração e refrigeração, considerando-se que os mesmos encontram-se diretamente relacionados ao bom desempenho e funcionamento do ferramental, conseqüentemente, ao processo produtivo e à qualidade do produto moldado.

Efetuados os estudos e análises referentes ao processo de produção de componentes injetados à base de polímeros e ao projeto do molde de injeção, no que tange ao sistema de refrigeração, ficou ainda mais evidente a importância da proposta de trabalho, reforçando a necessidade da adoção de uma sistemática que, possibilite o desenvolvimento da atividade de projeto do sistema em questão.

Para tanto foram definidos os parâmetros mínimos necessários para o desenvolvimento da sistemática proposta, parâmetros envolvendo: abrangência; representação e clareza; profundidade; consistência; aplicabilidade; conteúdo; flexibilidade e benefícios que uma sistemática necessita apresentar.

Definidos os parâmetros, buscou-se uma representação gráfica para a proposta de forma que, a estrutura proposta possibilitasse demonstrar a inter-relação existente entre, as informações, tarefas e resultados envolvidos durante as fases de projetos. Para tanto foram criados procedimentos (*Checklist*) que fornecem o suporte necessário a atividade de projeto.

Uma estrutura com procedimentos diferenciados das empregadas atualmente, quando considerado que o projeto dos sistemas de refrigeração na grande maioria dos casos, são desenvolvidos de forma empírica ou baseados em projetos de moldes semelhantes, isto é, são formas de projeto que dependem unicamente da experiência do projetista envolvido, situação muito perigosa para as empresas, pois com a saída do profissional, muitas informações e conhecimentos são perdidos.

Concluída a estrutura da sistemática proposta, foi avaliada junto a dois grupos de avaliadores, sendo um formado por projetistas, profissionais envolvidos com o projeto do molde e outro, por especialistas que apresentam conhecimento em metodologia de projetos de produtos e processos de injeção de polímeros.

Considerando-se os resultados obtidos durante a avaliação da sistemática proposta, quanto à adequação e aplicação, foi considerada pelos avaliadores como uma proposta, de

grande importância para a atividade de projeto do sistema de refrigeração, pois sua estrutura, possibilita orientar e esclarecer em detalhes quais são as informações, tarefas e resultados envolvidos durante as fases de projetos do sistema de refrigeração.

Verificou-se também que a sistemática proposta não só favorece aos projetistas mais experientes, mas também aos menos experientes que, de alguma forma, podem direcionar seus esforços de forma a contemplar as necessidades durante as atividades envolvidas no projeto do molde de injeção, de forma organizada e sistematizada. Considerando-se não somente aspectos funcionais do molde, como também do ponto de vista da melhoria da qualidade, tanto processo produtivo como do produto moldado.

Outro detalhe a ser considerado é de que, mesmo a sistemática proposta estando focalizada para atividades de projeto do sistema de sistemas de refrigeração aplicados ao molde de injeção, é possível que, mediante as adequações, pode ser aplicada para o desenvolvimento dos demais sistemas como o de alimentação e o de extração.

Com base nos resultados apresentados na avaliação e nas considerações apresentadas neste capítulo, conclui-se que a sistemática proposta, além contemplar os objetivos pré-estabelecidos no início desse trabalho, apresentam contribuições significativas, tanto as empresas de projetos de moldes, como para o desenvolvimento e aprimoramento de outros estudos baseados neste trabalho.

Na sequência são apresentadas algumas sugestões e recomendações para o desenvolvimento de novos trabalhos nas áreas associadas a esta dissertação.

6.2 Recomendações para Trabalhos Futuros

Analisando-se os resultados e discussões promovidas neste trabalho, verifica-se que melhorias e extensões podem ser realizadas no sentido de aprimorar o processo de projeto do sistema de refrigeração e dos demais sistemas que compõem o molde, como o de alimentação e extração. Assim apresentam-se algumas sugestões para trabalhos futuros, segundo essa linha de pesquisa.

- Levantar e desenvolver métodos e técnicas que potencializem e acelerem a externalização dos conhecimentos envolvidos no processo de projeto do sistema de refrigeração;
- Sugere-se o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que permita gerir o processo de projeto do sistema de refrigeração, identificando as funções dos sistemas e as informações envolvidas no processo e, conseqüentemente, auxiliar na geração e concepção de sistema de refrigeração eficiente, atendendo às necessidades do cliente;
- Desenvolver uma metodologia que contemple o trabalho proposto, abordando o conteúdo de estimativas de custos relacionados com o projeto e execução do

sistema de refrigeração de um molde, com ênfase em ambientes computacionais, permitindo maior agilidade no levantamento e no cálculo dos custos;

- Expandir a sistemática proposta para o projeto dos demais sistemas incorporado no projeto do molde de injeção (alimentação e extração), consequentemente implementando maior interação entre os sistemas envolvidos;
- Implementar um estudo de caso que permita avaliar a sistemática proposta em toda a sua amplitude, considerando-se as informações de entrada, as inter-relações existentes entre as fases, etapas e atividades que envolvem o projeto do sistema de refrigeração no contexto do projeto do molde de injeção;
- Desenvolver estudos, aplicando-se os conceitos de prototipagem rápida (*Selective Laser Sintering (SLS)*, *Selective Laser Melting (SLM)*, *Direct Metal Laser Sintering (DMLS)*, *3D Printing Technologies*) na obtenção de postigos metálicos (machos e cavidades), tornando-se possível uma configuração para o circuito de refrigeração, de forma a acompanhar o mais fiel possível o contorno da cavidade.

REFERÊNCIAS

AMARAL, C. **Sistematização da Gestão do Conhecimento Técnico na Geração de Princípios de Solução na Fase de Reprojetado Conceitual de Produtos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

BACK, N. **Metodologia de Projetos de Produtos Industriais**. Rio de Janeiro: Guanabara Dois Rios, 1983.

BARROS, I. M. F. C. S. **Modelação do Comportamento Térmico de Moldes de Injeção**. Tese de Doutorado, Universidade do Minho, Guimarães. Portugal, 2004.

BAXTER, M. **Projeto de Produto**: Guia Prático para o Desenvolvimento de Novos Produtos. São Paulo: Edgar Blücher Ltda, 1998.

BLASS, A. **Processamento de Polímeros**. 2º ed. Florianópolis: UFSC, 1998.

BORBA, A. B.; CONCEIÇÃO, G. **Levantamento das Práticas Adotadas no Projeto do Sistema de Refrigeração de Moldes para Injeção de Polímeros**. (Trabalho de Conclusão de Curso em Tecnologia em Mecânica) – Instituto Superior Tupy – SOCIESC, Joinville, 2006.

BRASIL, A. D. **Conhecimento e uso de Metodologias de Desenvolvimento de Produtos: Uma Pesquisa Envolvendo 30 Empresas Situadas nos Estados de Santa Catarina e Rio Grande Do Sul**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1997.

BRITO, A. M.; ARAÚJO, B.; SOUSA, R.; PONTES, A. J. **Manual do Projectista para Moldes de Injeção de Plásticos**. Vol. 6 - Sistemas de Alimentação e Escape de Gases. Marina Grande, Centimfe, 2004.

_____.; MATOS, A.; MENDES, S. S. **Manual do Projetista para Moldes de Injeção de Plásticos**. Vol. 7. Sistemas de Controle de Temperatura. Marina Grande, Centimfe, 2004.

_____.; CUNHA, A. M.; BARROS, I.; TEIXEIRA, J.C.F.; S.C.F.C. **Desempenho Térmico de Moldes de Injeção**. O molde, Marinha Grande, ano 15, p. 08-13, Dezembro, 2002.

C-Mold; *C-Mold Design Guide*; **Documentação de Ajuda do Software**. C-Mold 98/97.

CANCIGLIERI JR., O.; IAROZINSKI NETO, A. **Projeto Orientado para Manufatura de Produtos Plásticos Injetáveis**. V Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produtos - CBGDP, Curitiba, 2005. CD-ROM.

CARDON, L.. **Rapid Prototyping & Tooling**. Projeto redes de centros tecnológicos e apoio às pequenas e médias empresas, (PMEs). Apostila, SOCIESC, Joinville, 2008.

CARNEIRO, M. S.. **Transferência Térmica determina o bom Desempenho de moldes de injeção**. . Plástico Industrial, ano VIII, p. 108-119, Março, 2006.

CATAPAN, M. F; FERREIRA, C. V.; FORCELLINI, F. A. **Recomendações do Projeto Preliminar em Componentes de Plásticos Injetados para a Definição da Forma Utilizando o DFMA**. V Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produtos - CBGDP, Curitiba, 2005. CD-ROM.

COSTA, C. A.; YOUNG, R. I. M. **Uma Revisão em Sistemas Baseados em Inteligência Artificial para Suporte ao Projeto de Moldes de Injeção**. Revista do Ccet, Caxias do Sul, v. 2, n. 2, 1999.

_____. **Reutilização de Informações no Projeto de Moldes de Injeção Através do uso de Modelos de Informação e de Conhecimento**. Revista Produto & Produção, Porto Alegre, vol. 7 n. 3, 2004.

CRUZ, S. **Molde de injeção**. São Paulo: Hemus, 2002

CUNHA, A. M. **Manual do Projectista para Moldes de Injeção de Plásticos**. Vol. 2 - Moldação por Injeção e Materiais Plásticos. Marina Grande, Centimfe, 2004.

_____. **Manual do Projectista para Moldes de Injeção de Plásticos**. Vol. 10 - Complementos e Anexos. Marina Grande, Centimfe, 2004.

_____; BRITO, A. M.; MATOS, A.; PONTES, A. P. **Manual do Projectista para Moldes de Injeção de Plásticos**. Vol. 3 - Tipificação dos Moldes. Marina Grande, Centimfe, 2004

_____. **Curso Avançado de Moldes para Injeção de Plásticos**. Parceria entre a Universidade do Minho e a SOCIESC. Apostila, SOCIESC, Joinville, 2005.

DARÉ, G. **Proposta de um Modelo de Referência para o Desenvolvimento Integrado de Componentes de Plásticos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2001.

DYN, J. B. **Injection molds And molding**. 2. ed, New York: Van Nostrand, 1987.

FASCIN, H. M.; REBONATO A. L.; FOGGIATTO, J. A.; SALMORIA, G.; AHRENS, C. H.. **Análise de Canais de Refrigeração com Diferentes Geometrias com Auxílio do Sistema CAE (Moldflow®)** - Paper CRE04-PF11, 2004.

FERREIRA, C.V .; FORCELLINI, A.F.; OGLIARI,A. **O Emprego do QFD e da Triz no Processo de Desenvolvimento de Componentes Injetados: Uma Ferramenta de Apoio ao Processo de Projeto e Manufatura**. Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica, 1999.

FERREIRA, C.V. **Metodologia para as Fases de Projeto Informacional e Conceitual de Componentes de Plástico Injetado Integrando os Processos de Projeto e Estimativa de Custos**. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

_____. **Metodologia de Projeto para Produtos de Peças Plásticas**. Ferramental, ano II, nº 7, p. 15-22, Julho/Agosto, 2006.

FERRO, S. **Setor tem Tecnologia de Ponta e Preço Coreano**. Plástico Moderno on line. Ed 321,2001. Disponível em: www.plastico.com.br/revista/pm321/moldes/setor_tem_tecnologia.htm - acesso em Julho 2005.

FIOD NETO, M. **Desenvolvimento de sistema computacional para auxiliar a concepção de produtos industriais**. Tese de doutorado em Engenharia da Produção. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1993.

FORCELLINI, F. A. **Projeto de produtos**. Apostila da Disciplina de Projeto para Manufatura do Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

GESENHUES, B; WITTMANN, T. **Simulação, um Recurso Cada Vez mais Próximo do Transformador por Injeção**. Plástico Industrial, ano VI. p. 132-141, Maio, 2003.

GLANVILL, H. **Princípios Básicos e Projetos de Moldes de Injeção**. 2. ed., São Paulo: Edigard Blucher, 1980.

GLASTROW, H. **Injection Molds: 108 Proven Designs**. Hanser: Munich, 1993.

HARADA, J. **Moldes para Injeção de Termoplásticos – Projetos e Princípios Básicos**. São Paulo: Artiber, 2004.

_____. **A importância do Projeto de Moldes para Injeção de Termoplásticos**. Ferramental – Revista Brasileira de Ferramentais, ano I, p. 27-31, maio/junho, 2006.

HUBKA, V. e EDER, E. W. **Design Science: Introduction to needs, scope and organization of engineering design knowledge**. 2. ed. London. Great Britain: Springer-Verlag London Limited. 1996.

KRUTH, J. P.; MERCELIS, P.; VAERENBERGH V. J.; FROYEN, L.; ROMBOUTS, M.; **Binding Mechanisms in Selective Laser Sintering and Selective Laser Melting**. Rapid Prototyping Journal, Jan. 2005, Vol. 11, n°.1, 26-36, ISSN 1355-2546.

LAFRATTA, F. H. **Uso de Fluido Refrigerante, Temporariamente Confinado, em Ferramental Rápido para a Injeção de Termoplásticos**. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

LIMA, P. S.; RAMOS, J. POUZADA, A. S. **Estudo Analisa o Desempenho Térmico de Moldes Híbridos**. Plástico Industrial, ano VIII p. 80-87, Fevereiro, 2004.

MALLOY, R. A. **Plastic Part Design for Injection Molding: an Introduction**. New York: Hanser, 2000.

MANRICH, S. **Processamento de Termoplásticos: rosca única, extrusão e matrizes, injeção e moldes**. São Paulo: Artliber, 2005.

MASCARENHAS, W. N. **Sistematização do Processo de Obtenção do Leiate Dimensional de Componentes de Plástico Moldados por Injeção**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

MaxiQuim Assessoria de Mercado. **Radiografia Nacional - Indústria de Moldes e Ferramentas para a Transformação de Plásticos**. Relatório. São Paulo, 2000.

MENGES, G., MOHREN, P. **How to Make Injection Molds**. 2. ed. Munich: Hanser, 1993.

MICHAELI, W.; GREIF, H.; VOSSEBURGUER, F.J. **Introducción a la tecnología de los plasticos, Munich: Hanser**, 1992.

MORITZ, M.; MELO, R. **Projeto de um molde instrumentado para estudo de sistemas de refrigeração**. Joinville, 2003. TCC (Tecnologia em Mecânica) – Instituto Superior TUPY

MYLLA, A. Y. F. **Influência do Resfriamento na Qualidade de Peças Termoplásticas Moldadas por Injeção, com Estudo de Caso em Sistemas CAE**. Florianópolis, Dissertação de Mestrado, UFSC, 1998.

OGLIARI, A. **Sistematização da Concepção de Produtos Auxiliado por Computador com Aplicações no Domínio de Componentes de Plástico Injetado**. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

OSÓRIO, A.; ESPERTO, L. *Rapid Tooling* - Sinterização Directa por Laser de Metais. **Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões**. Mecânica Experimental, 2008, Vol 15, pg 117-11. ISSN 1646-7078.

PAHL G.; BEITZ W. **Engineering Design: A Systematic Approach**. London: Springer-Verlag, 1996.

PAHL G.; BEITZ W.; FELDHUSEN, J.; GROTE, K. H. **Projeto na Engenharia – Fundamentos do Desenvolvimento Eficaz de Produtos Métodos e Aplicações**. Tradução de Hans Andréas. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

PEIXOTO, F. L. **Considerações Quanto ao Uso de Técnicas para Análise de Fluxo em Cavidades de Moldes de Injeção**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999.

PONTES, A. J.; BRITO, A. M.; MATOS, A.; ARAÚJO, B.; MENDES, S. S. **Manual do Projectista para Moldes de Injeção de Plásticos**. Vol. 8 - Sistemas de Extração. Marina Grande, Centimfe, 2004

PÖTSCH, G.; WALTER, M. **Injection Molding – Na Introduction**. Hanser/Gardner, 1995.

POUZADA, S. A. **Instrumentação de Moldes e Equipamentos para Área Plásticos**. Projeto redes de centros tecnológicos e apoio às pequenas e médias empresas, (PMEs). Apostila, SOCIESC, Joinville, 2008.

PROVENZA, F. **Moldes para plastico**. São Páulo: F. Provensa, 1993.

REES, H. **Mold Engineering**. Munich; Vienna; New York: Hanser; Cincinnati: Hanser/Gardner, 1995.

ROMANO, L. N. **Modelo de Referência para o processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas**. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRADINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos – Uma Referência para a Melhoria do Processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.

SABINO, A. C. N. **Proposta de Sistemática para Avaliação de Projeto de Componentes Moldados por injeção Auxiliada por protótipos Físicos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

SACCHELLI, C.M. **Sistematização do processo de desenvolvimento integrado de moldes de injeção de termoplásticos**. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2007.

_____.; OGLIARI, A.; AHRENS, C.H.; SILVA, D. T.; TEXEIRA, J. A.; **Caracterização do Modelo de Gerenciamento e de Desenvolvimento de Moldes em Ferramentarias do Pólo Industrial de Joinville-SC**. In: 3º Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Belém do Pará, 2004. CD-ROM.

_____.; REINERT, A. **Análise do Processo de Injeção de Termoplásticos Através de Sistemas CAE**. Anais - 2º Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica- João Pessoa, Brasil, 2002.

_____. **Comparação entre os Resultados Obtidos pelo Processo de Injeção de Poli(Óxido de Metila) Versus Simulação de Injeção**. Dissertação de mestrado. CCT. UDESC. Joinville. SC 2000.

SALVADOR, V. L.; COSTA, C. A. **Quais são as Etapas mais Importantes no Desenvolvimento de Ferramentas de Injeção**. Plástico Industrial, ano IX p. 82-94, Fevereiro, 2007.

SANCHO, A. **Aspectos Fundamentales en la Construcción de Moldes**. Seminário Internacional de Injeção de Termoplásticos. Apostila, ASCACAM Technology Center parceria SOCIESC, Joinville, 2005.

SCHUBERT, A.; SCHIEDEK, B.; HANS, C. **Como uma boa Simulação Facilita o Desenvolvimento de Peças Plásticas**. Plástico Industrial, ano V p. 88-95, dezembro, 2002.

SORS, L.; BARDÓCZ, L.; RADNOTI, I. **Plásticos moldes e matrizes**. São Paulo: Hemus, 1998.

STEINKO, W. **Avaliação do projeto térmico do molde garante qualidade e redução de custos**. Plástico Industrial, ano VI, p. 64-71, Novembro, 2004.

STITZ, S; SCHILCK, K.; POOP, M. **Estudo Identifica Modos mais Eficientes de Resfriamento do Ferramental de Injeção**. Plástico industrial, ano IV nº 48, agosto, 2002.

TONOLLI, E. J. Jr. **Ambiente Colaborativo para o Apoio ao Desenvolvimento de Moldes para Injeção de Plásticos**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica. UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2003.

_____.; COSTA C. A.; FORCELLINI F. A. **Como o Ambiente Colaborativo Agiliza o desenvolvimento de Moldes**. Plástico Industrial, ano VI, p. 158-166, Abril, 2004.

ULLMANN, D. G. **The Mechanical Design Process**. Hightstown: McGraw-Hill, 1992.

VALLEJOS, R.V. **Um Modelo para Formação de Empresas Virtuais no Setor de Moldes e Matrizes**. Florianópolis, Tese de Doutorado. UFSC, 2005.

VALERIANO, D. L. **Gerência de Projetos – Pesquisa, desenvolvimento e Engenharia**. São Paulo: Makron Books, 1998.

VERNADAT, F.B. **Enterprise Modeling and Integration: Principles and applications**. London: Chapman &Hall, 1996.

APÊNDICES

O objetivo da pesquisa foi de levantar e identificar como o ocorre o processo de projeto do sistema de refrigeração atualmente na prática, seja, em setores de projetos instalados na própria indústria (ferramentarias), ou em escritórios de projetos, visando estabelecer uma referência entre os elementos envolvidos no planejamento e execução do processo de projeto do sistema de refrigeração, aplicado ao molde de injeção.

Para tanto, fora aplicada pesquisa de campo, através do questionário representado na Figura A.1, onde foram levantados os dados: da empresa; do responsável por responder o questionário; relativos ao projeto de molde de injeção e os relativos ao processo de injeção.

PESQUISA DE CAMPO			
SOCIESC: INSTITUTO SUPERIOR TUPY (IST)			
GRADUAÇÃO: TECNOLOGIA EM MECÂNICA E FABRICAÇÃO (TMF)			
Professor Orientador: Sérgio Luis Silva			
Turma: TMF-360			
Nome dos Acadêmicos: Alécio Bernardes Borba			
Objetivo: Levantar as melhores práticas adotadas no projeto do sistema de refrigeração aplicadas ao molde de injeção, com intuito de desenvolver o trabalho de conclusão de curso TCC, a ser submetido ao Instituto Superior TUPY como parte dos requisitos para obtenção do grau de Tecnólogo em Mecânica e Fabricação.			
Dados da empresa	Razão Social:		
	Endereço:		
	CEP:	Cidade:	Estado:
	Fone:		Fax:
	E-mail:		www.
	1- Qual é o numero de funcionários?		
	<input type="checkbox"/> Até 10 funcionários. <input type="checkbox"/> De 31 a 40 funcionários. <input type="checkbox"/> Acima de 61 funcionários. <input type="checkbox"/> De 11 a 20 funcionários. <input type="checkbox"/> De 41 a 50 funcionários. <input type="checkbox"/> De 21 a 30 funcionários. <input type="checkbox"/> De 51 a 60 funcionários.		
	2- Qual é o numero de funcionários envolvidos com projetos de moldes de injeção?		
<input type="checkbox"/> 1 funcionário. <input type="checkbox"/> De 2 a 5 funcionários. <input type="checkbox"/> De 6 a 10 funcionários. <input type="checkbox"/> Acima de 11 funcionários			
3- A que mercado se destina os projetos de moldes de injeção?			
<input type="checkbox"/> () % mercado interno. <input type="checkbox"/> () % mercado externo.			

Figura A.1 – Questionário adotado no levantamento das melhores práticas adotadas para se projetar o sistema de refrigeração aplicados aos moldes de injeção (Continua)

Dados da empresa	4- Qual é o número de moldes de injeção projetados anualmente? <input type="checkbox"/> Até 20. <input type="checkbox"/> De 21 a 40. <input type="checkbox"/> De 41 a 60. <input type="checkbox"/> De 61 a 80. <input type="checkbox"/> De 81 a 100. <input type="checkbox"/> Acima de 100
	5- Quais os segmentos de atuação em projetos de moldes de injeção: <div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 25%;"> <input type="checkbox"/> Aeronáutico <input type="checkbox"/> Automobilístico /Autopeças <input type="checkbox"/> Cosméticos <input type="checkbox"/> Embalagens plásticas <input type="checkbox"/> Hospitalar <input type="checkbox"/> Outros (especifique): </div> <div style="width: 25%;"> <input type="checkbox"/> Água e saneamento <input type="checkbox"/> Construção civil <input type="checkbox"/> Elétrico <input type="checkbox"/> Farmacêuticos <input type="checkbox"/> Utensílios domésticos </div> <div style="width: 25%;"> <input type="checkbox"/> Alimentos <input type="checkbox"/> Brinquedos <input type="checkbox"/> Calçados <input type="checkbox"/> Moveleiro </div> <div style="width: 25%;"> <input type="checkbox"/> Eletrônico <input type="checkbox"/> Eletrodomésticos <input type="checkbox"/> Máquinas em geral <input type="checkbox"/> Telecomunicações </div> </div>
Dados pessoais	Responsável pelo preenchimento: Cargo/Área: Fone: _____ e-mail: _____
	6- Qual é a sua formação acadêmica? <input type="checkbox"/> Graduado. <input type="checkbox"/> Técnico. <input type="checkbox"/> Especialista. <input type="checkbox"/> Outro. Qual?
	7- Qual o tempo de experiência em projetos de moldes de injeção? <input type="checkbox"/> Menos de 1 ano. <input type="checkbox"/> De 1 a 5 anos. <input type="checkbox"/> De 6 a 10 anos. <input type="checkbox"/> De 11 a 20 anos <input type="checkbox"/> Mais de 20 anos
	8- Para o desenvolvimento e projeto do molde de injeção, enumere uma seqüência que julgas adequada para efetivar o processo. <div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;"> <input type="checkbox"/> -Disposição (leiaute) do produto na placa cavidade <input type="checkbox"/> -Projeto do sistema de alimentação <input type="checkbox"/> -Projeto estrutural do molde <input type="checkbox"/> -Levantamento do número de peças a produzir <input type="checkbox"/> -Dados técnicos da máquina </div> <div style="width: 50%;"> <input type="checkbox"/> -Projeto dos elementos de fixação <input type="checkbox"/> -Projeto do sistema de extração <input type="checkbox"/> -Projeto do sistema de refrigeração <input type="checkbox"/> - Simulação em software <input type="checkbox"/> -Outros. Quais </div> </div>
Dados relativos ao processo de projeto do sistema refrigeração	9- Quais os sistemas de refrigeração de seu conhecimento mais aplicados na empresa? <input type="checkbox"/> Furação <input type="checkbox"/> Espiral <input type="checkbox"/> Inserto a base de cobre <input type="checkbox"/> Lamina separadora (palheta) <input type="checkbox"/> Cascata <input type="checkbox"/> Em linha <input type="checkbox"/> Circular <input type="checkbox"/> Outro. Qual? <input type="checkbox"/> Serpentina <input type="checkbox"/> Pino térmico <input type="checkbox"/> Helicoidal
	10- Qual o procedimento adotado para determinar o melhor sistema de refrigeração a ser aplicado no molde? enumere de 1 a 4, onde, 1 representa pouca aplicação e 4 representa muita aplicação. <div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;"> <input type="checkbox"/> Por semelhança de projetos. <input type="checkbox"/> Empírico (experiência profissional). </div> <div style="width: 50%;"> <input type="checkbox"/> Aplicação de modelo matemático. <input type="checkbox"/> Aplicação de simulação em software. </div> </div>
	11- Qual o procedimento você adota para a determinação das dimensões do sistema de refrigeração? <input type="checkbox"/> Por semelhança de projetos. <input type="checkbox"/> Empírico (experiência profissional). <input type="checkbox"/> Aplicação de modelo matemático. (Qual?). <input type="checkbox"/> Aplicação de simulação em software. (Qual?).
	12- Quais fatores influenciam na escolha do processo de simulação da injeção? <div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 33%;"> <input type="checkbox"/> perfil da peça. <input type="checkbox"/> tamanho do molde. <input type="checkbox"/> preço do molde. </div> <div style="width: 33%;"> <input type="checkbox"/> número de cavidades. <input type="checkbox"/> material da peça. <input type="checkbox"/> número de peças a produzir. </div> <div style="width: 33%;"> <input type="checkbox"/> ciclo de injeção. <input type="checkbox"/> solicitante do projeto. </div> </div>
	13- De acordo com os parâmetros listados abaixo identifique, atribuindo valores de 1 a 10, onde, 1 representam pouca interferência e 10 muita interferência no projeto do sistema de refrigeração: <div style="display: flex; flex-wrap: wrap;"> <div style="width: 50%;"> <input type="checkbox"/> -Material da peça. <input type="checkbox"/> -Material do molde. <input type="checkbox"/> -Material de circuitos. <input type="checkbox"/> -Perfil da peça. <input type="checkbox"/> -Acabamento. </div> <div style="width: 50%;"> <input type="checkbox"/> -Formato das cavidades. <input type="checkbox"/> -Tipo de alimentação. <input type="checkbox"/> -Tipo de extração. <input type="checkbox"/> -Formato do macho. <input type="checkbox"/> -Número cavidades (leiaute). </div> </div>

Figura A.1 - Questionário adotado no levantamento das melhores práticas adotadas para se projetar o sistema de refrigeração aplicados aos moldes de injeção. (Continuação)

No decorrer, são apresentados os principais resultados que serviram para nortear o desenvolvimento da sistemática proposta. Os resultados encontram-se distribuídos de acordo com os blocos formatados no questionário como pode ser observado na sequência do estudo:

• **Primeiro Bloco** - referente aos dados apurados no primeiro bloco é importante registrar que, das 56 pesquisas remetidas, 13 foram retornadas pelas empresas, representadas pelos projetistas ou especialistas, envolvidos com projeto de moldes de injeção, o que, corresponde a um índice de 23,21% de participação.

Durante análise criteriosa realizada junto aos dados obtidos, verificou-se que algumas empresas, consideradas importantes e fundamentais devido a sua atuação no mercado, encontravam-se fora do escopo do resultado. Empresas reconhecidas nacional e internacionalmente que, num primeiro momento, não corresponderam ao chamado. Esse fato reforçou, a necessidade da busca pela participação dessas empresas.

Portanto, o pesquisador (neste caso, o mestrando) realizou um novo trabalho de pesquisa, onde, foram identificadas e contatadas as empresas que não retornaram a pesquisa conduzida por Borba et. al. (2006). Nesta fase da pesquisa, foram reapresentados os objetivos e enfatizando a importância deste estudo para o desenvolvimento da proposta de trabalho. Durante a pesquisa foram identificadas e contatadas quinze (15) empresas, sendo que, onze (11) destas participação da pesquisa de campo, o que proporcionou um aumento significativo quanto ao envolvimento das empresas pesquisadas. Totalizando 46,84% do total das empresas contatadas, conforme pó ser observado na Figura A.2.

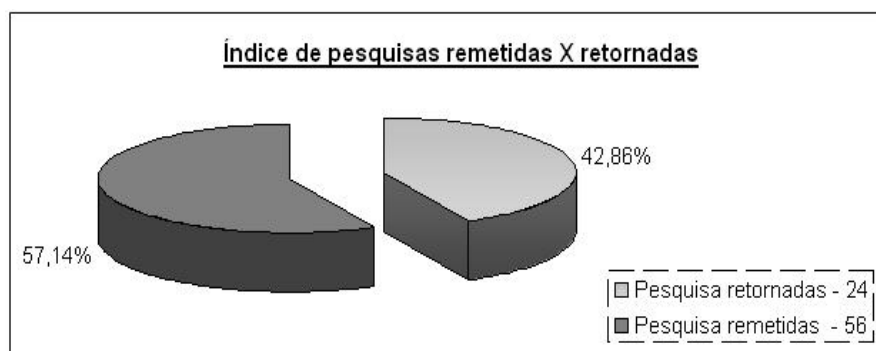


Figura A.2 – Índice de pesquisas remetidas X retornadas.

Em função dos novos dados obtidos, trabalhou-se uma nova tabulação onde se observou, que não houve grandes divergências entre os dados levantados durante a pesquisa conduzida por Borba et al (2006).

A primeira pergunta levantou-se o número de funcionários envolvidos com o projeto de moldes de injeção. Observando-se a Figura A.3, verifica-se que a maioria das empresas possui entre 2 e 5 funcionários envolvidos com o projeto, ou seja, 68% do total. Outro dado interessante é o número de empresas que possuem um único projetista, num total de 12%,

donde 85% desse número encontram-se, localizados nos escritórios de projetos, cujo, o proprietário é o projetista.

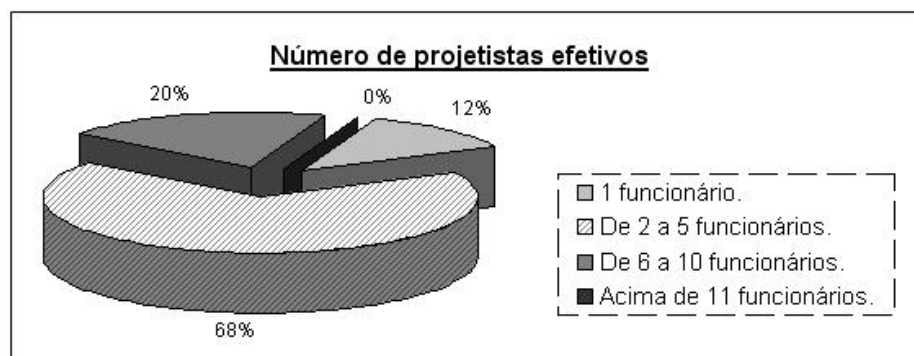


Figura A.3 – Número de projetistas envolvidos com projeto do molde

Na segunda, verificou-se o mercado de atuação das empresas, quanto ao desenvolvimento e projeto do molde de injeção, mostra que 60% delas atuam unicamente no atendimento do mercado interno brasileiro, fato que condiz com a afirmação de MaxiQuim (2000), quanto aos resultados da balança comercial apresentada na introdução deste trabalho.

As demais empresas, 40% delas, exportam os moldes fabricados, em números não muito significantes, como pode ser observado na Figura A.4. O perceptual de empresas atuando no mercado de exportação varia entre 2 e 30% da capacidade produtiva, e a melhor performance encontra-se na relação 30 por 70%, atingindo 12% das empresas pesquisadas. Esse fato pode ser atribuído à qualidade e ao elevado tempo gasto na confecção dos moldes de injeção, comparando-se a países, como: Portugal, Alemanha, China entre outros, conforme apresentado no início do capítulo 2, no tópico 2.1.

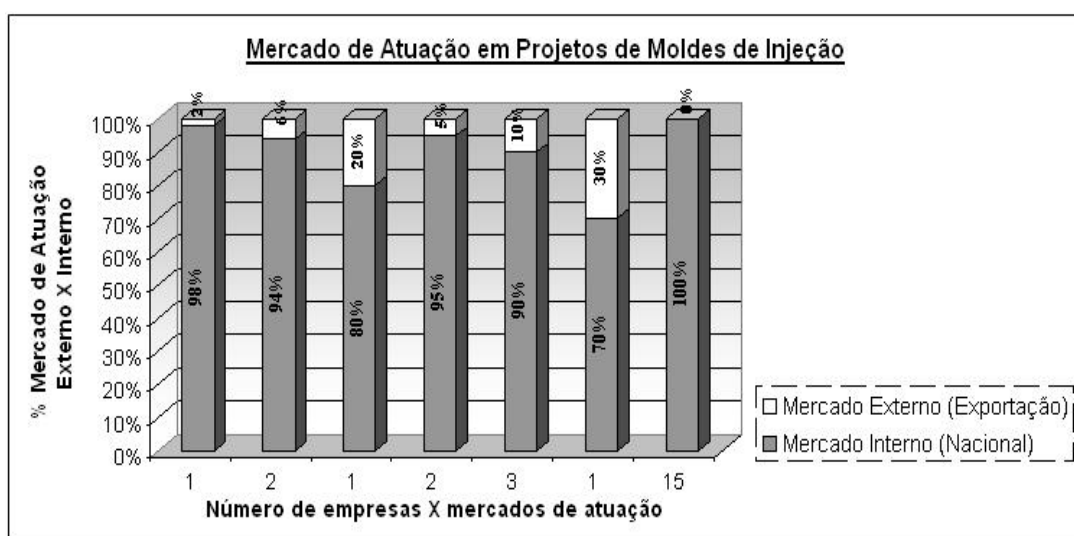


Figura A.4 – Mercado de atuação em projeto de moldes de injeção

Ainda respondendo às perguntas referentes ao primeiro bloco, na pergunta 4 buscou-se verificar qual o número de moldes projetados anualmente pelas empresas, na Figura A.5. A

pesquisa apontou que: 20% das empresas projetam até 20 moldes; 40% das empresas entre 21 e 40 moldes; 36%, sendo este, divididos igualmente em 12%, para empresas que projetam de 41 a 60, 61 a 80 e 81 a 100; única empresa (4%) produz acima de 100 projetos anuais, não poderia deixar de salientar que os dados apresentados variam muito em função da economia de mercado.

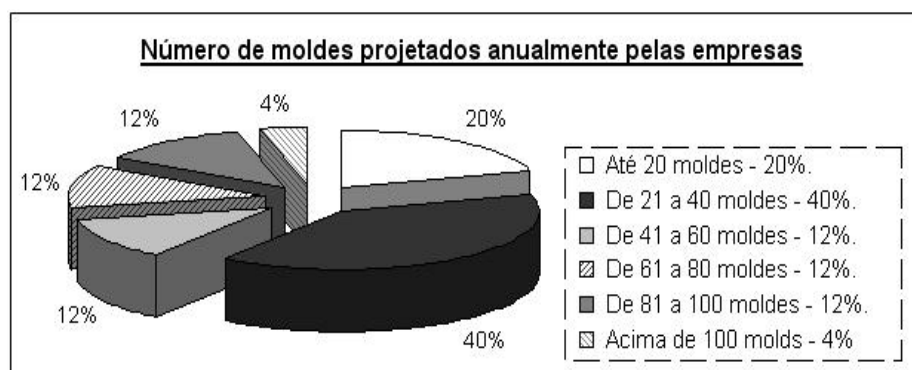


Figura A.5 – Número de moldes projetados anualmente pelas empresas

Na pergunta 5 identificaram-se para quais, seguimentos (mercado) de atuação as empresas prestam serviços de projeto de molde. Verificou-se um seguimento de mercado bastante amplo (Figura A.6), abrangendo áreas, tais como: automobilismo/autopeças, eletrodomésticos, utensílios domésticos e construção civil são as que mais se destacam na região de Joinville.

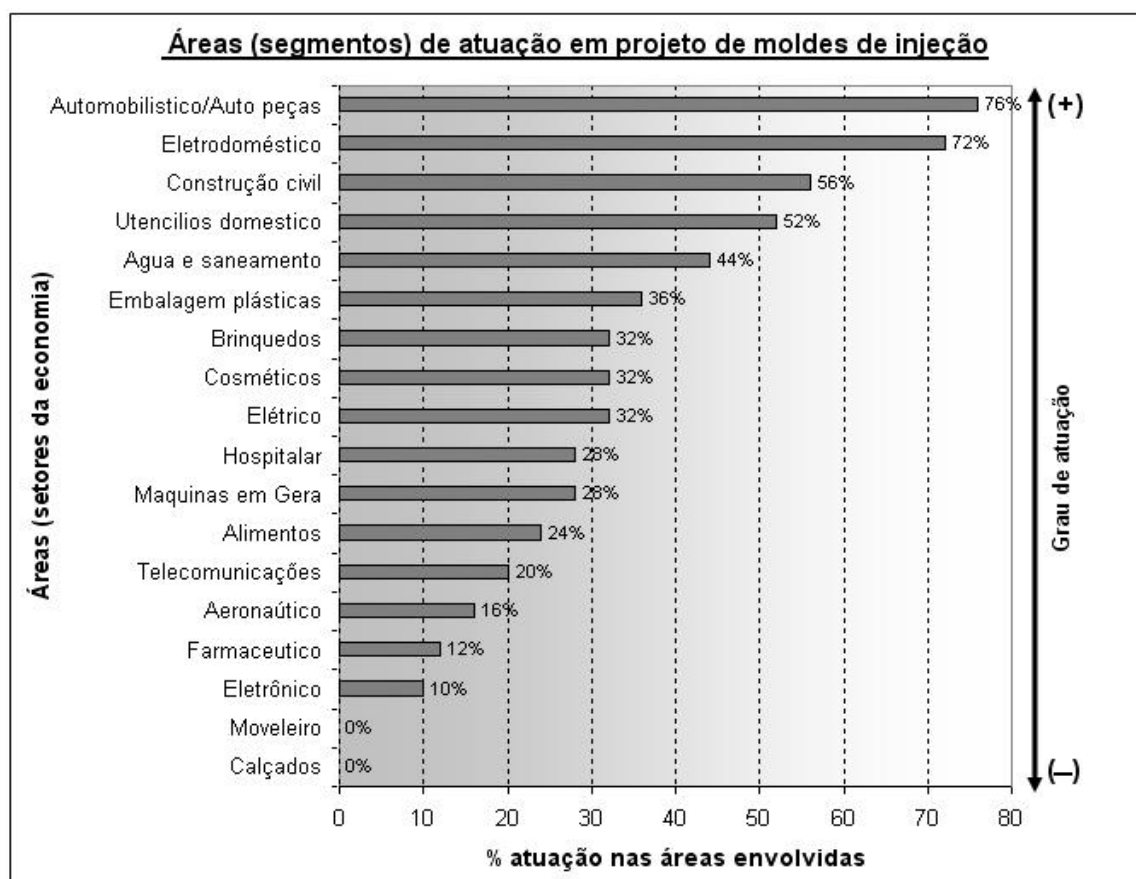


Figura A.6 – Áreas (segmentos) de atuação em projeto de moldes de injeção

Nos resultados apurados na pesquisa foram registrados os respectivos resultados: os segmentos (áreas) que envolvem o setor moveleiro e de calçados não são atendidos; enquanto a farmacêutica é muito pouco atendida; já os setores como de eletrodoméstico, de utensílios domésticos, construção civil e de automobilismo/autopeças encontram-se entre 9 e 13% e os demais segmentos encontram-se em um nível intermediário, entre 4 e 7%.

• **Segundo Bloco** – Refere-se aos dados do entrevistado, às informações tais como: nome do responsável pelo preenchimento, cargo/função, telefone e endereço que possibilitem futuros contatos, encontra-se detalhado em Borba et al (2006).

Quanto à formação acadêmica (Figura A.7), correspondente a sétima pergunta da pesquisa, verifica-se que, 44% dos entrevistados possuem formação técnica e os demais 56% são graduados, sendo que destes 16% possui uma especialização e 4% pois uma pós-graduação.

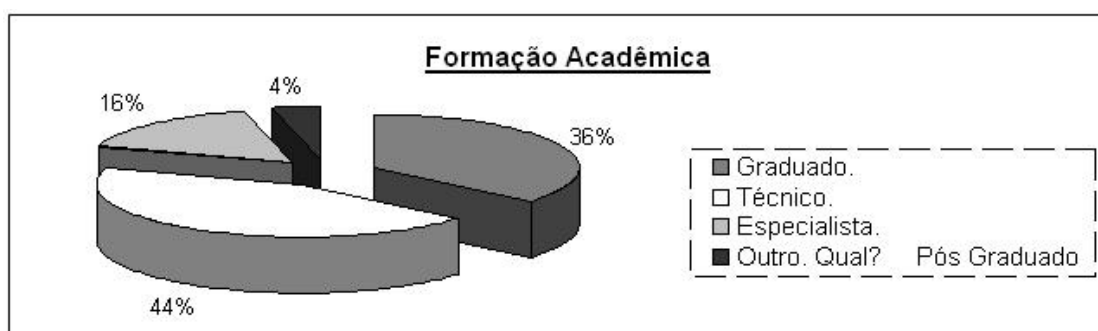


Figura A.7 – Formação acadêmica dos entrevistados

Referente à oitava pergunta, que faz a experiência do entrevistado (Figura A.8), ou seja, o tempo em que o entrevistado atua na área de projeto de moldes, verifica-se que os questionários foram respondidos pessoas, que apresentam de certa forma, um bom tempo de experiência na área afim. Apenas 04 entrevistados, 16% possuem de 1 a cinco anos de experiência, os demais apresentam mais de 6 anos de experiência, fato que contribui na validação e confiabilidade dos resultados apurados durante a pesquisa.

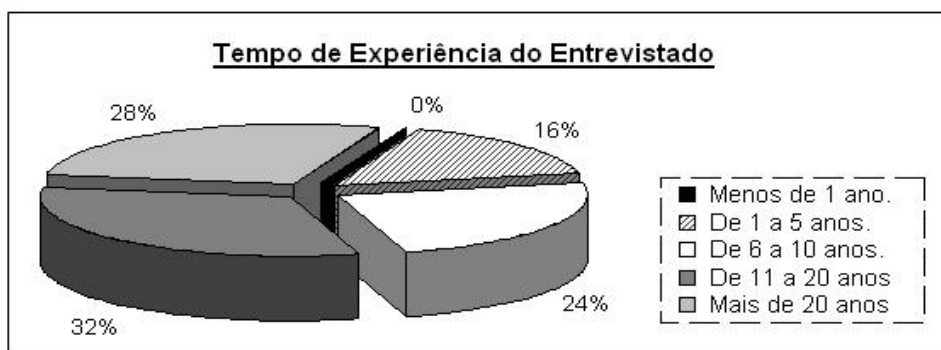


Figura A.8 – Tempo de experiência do entrevistado no projeto de moldes de injeção

• **Terceiro Bloco** – Apresentam-se os dados relativos ao projeto do molde de injeção, com objetivo de traçar um comparativo entre, a seqüência adotada na prática, por projetistas, durante o desenvolvimento e projeto do molde e o dados obtidos através da pesquisa bibliográfica (modelo de consenso, propostos por diferentes autores), conforme pode ser observado na Tabela A.1.

Tabela A.1 – Sequência das atividades para o projeto do molde de injeção

Fases Abordadas Durante o Desenvolvimento e Projeto do Molde de Injeção	De acordo com a Pesquisa de Campo		Levantamento do número de peças a produzir	Dados técnicos da máquina	Disposição (leiaute) do produto na placa cavidade	Projeto do sistema de alimentação	Simulação em software	Projeto estrutural do molde	Projeto do sistema de extração	Projeto do sistema de refrigeração	Projeto dos elementos de fixação
		Pesquisa de campo (2006/2007)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Propostas pelos Autores	Harada (2006)	1	2	4	4	2		5	5	
		Tonolli (2003)			1				5	4	
		Daré (2001)			1	3		5	6	4	
		Lee, Cheng & Lee (1997)			1	2		3	6	5	
		Rees (1995)							5	6	
		Menges & Mohren (1993)		3	4	4			6	5	
		Glastrow (1993)				2			4	3	

Traçando-se um comparativo entre os dados, verifica-se que algumas fases, como o levantamento e avaliação das especificações do produto; localização da(s) linhas de partição; análise da necessidade de saídas de ar, entre outras, não foram abordadas no questionário e nem citadas pelos entrevistados.

Constata-se também que as informações referentes ao número de peças a produzir foram citadas somente por Harada (2006), ao se referir ao levantamento e avaliação das especificações do produto. Outro item abordado na pesquisa, quanto ao projeto dos elementos de fixação, não foi abordado pelos autores.

Na análise realizada, também se verifica que há divergências entre os dados apurados, e na realização de um novo trabalho de pesquisa, abordando as fases envolvidas no desenvolvimento e projeto do molde de injeção, pode gerar um novo modelo de referência. Possibilitando o desenvolvimento de uma nova proposta, de forma a facilitar o desenvolvimento da atividade, principalmente por iniciantes na área de projetos, pois se deparam com metodologias distintas.

• **Quarto Bloco** – Apresentam-se os dados relativos ao processo de desenvolvimento e projeto do sistema de refrigeração. O objetivo das perguntas desenvolvidas neste bloco é de identificar quais: os sistemas/arquiteturas, mais empregadas no processo de projeto do sistema de refrigeração de moldes para injeção de polímeros; como são determinados; como são dimensionados; quais fatores são preponderantes na alternativa de ser empregado um software de simulação durante a atividade de projeto, de forma a auxiliar na determinação de um sistema adequado a necessidade de projeto e, por último, a sequência empregada durante o desenvolvimento e projeto do sistema de refrigeração (modelo de consenso).

A nona pergunta referente a este bloco, faz referência aos circuitos/arquiteturas mais empregados no projeto do sistema de refrigeração (Figura A.9).

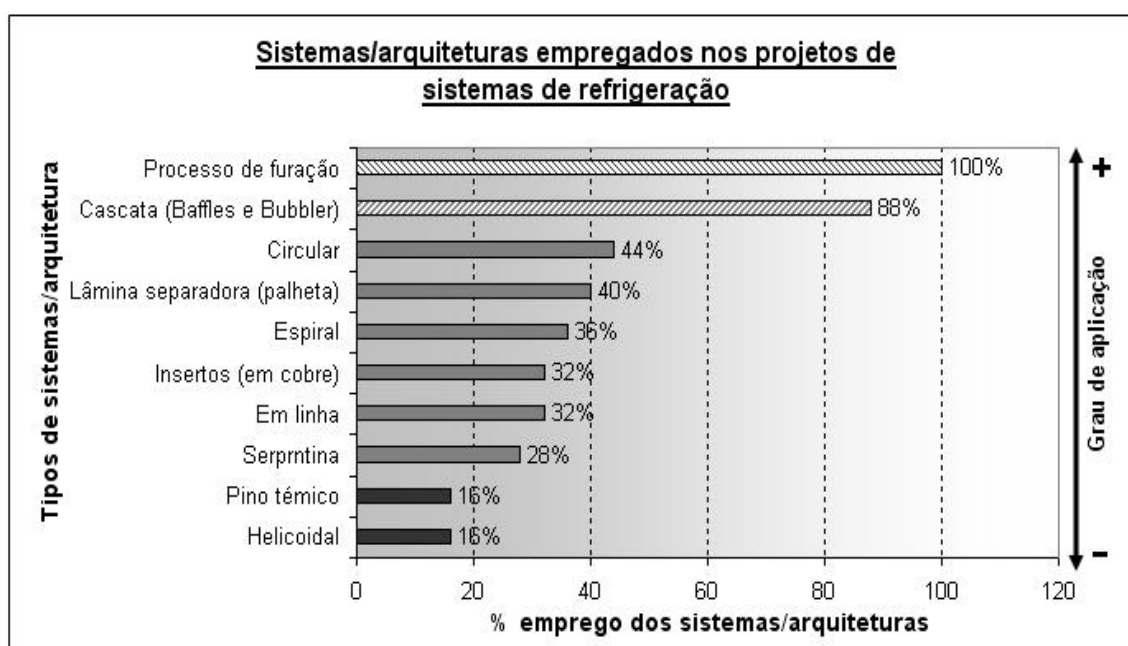


Figura A.9 – Circuitos e arquitetura mais aplicada no projeto do sistema de refrigeração

Quanto ao resultado, verifica-se que os sistemas/arquiteturas, obtidos através de furações, provenientes do processo de usinagem empregando-se brocas, são os mais empregados, correspondendo a 24% das indicações, sendo normalmente aplicadas em peças planas ou com perfis de baixa complexidade.

Outro sistema/arquitetura muito recomendado foi a do tipo cascata (*Baffles e Bubbler* detalhados no item 2.3.2 do capítulo 2), com 21% das indicações, muito aplicada em peças que de difícil acesso para levar o fluido até próximo a cavidade, em peças que apresentam grandes profundidades como baldes e em peças com perfis complexos como o corpo do retrovisor de automóveis.

As menos empregadas são: tipo helicoidal (serpentina), pois esse sistema tem sido substituído pelo tipo cascata, por apresentar melhor eficiência na troca de calor; pino térmico, em função de ser uma tecnologia pouco difundida, e cujo custo de aquisição é mais

alto, em relação aos demais sistemas apresentados. Segundo Stitz (2002), este sistema é muito eficiente, principalmente quando aplicados em locais de difícil acesso para efetivar a troca de calor, onde outros sistemas não podem ser aplicados.

A Figura A.10, apresenta os resultados referentes a décima pergunta, que teve como objetivo identificar quais os procedimentos mais empregados durante a atividade de projeto e verificou-se que, o processo empírico (experiência profissional), é a mais empregada com 52% das preferências, seguido pelo de semelhança de projetos existentes, com 40% das opções registradas, em primeira e segunda opções, respectivamente, na sequência apresentam-se a aplicação de software de simulação com 36%, este foi o procedimento, que mais, apresentou indecisão quanto seu o grau de importância, e por ultimo com 48% das preferências quanto ao emprego de modelos matemáticos (cálculos).

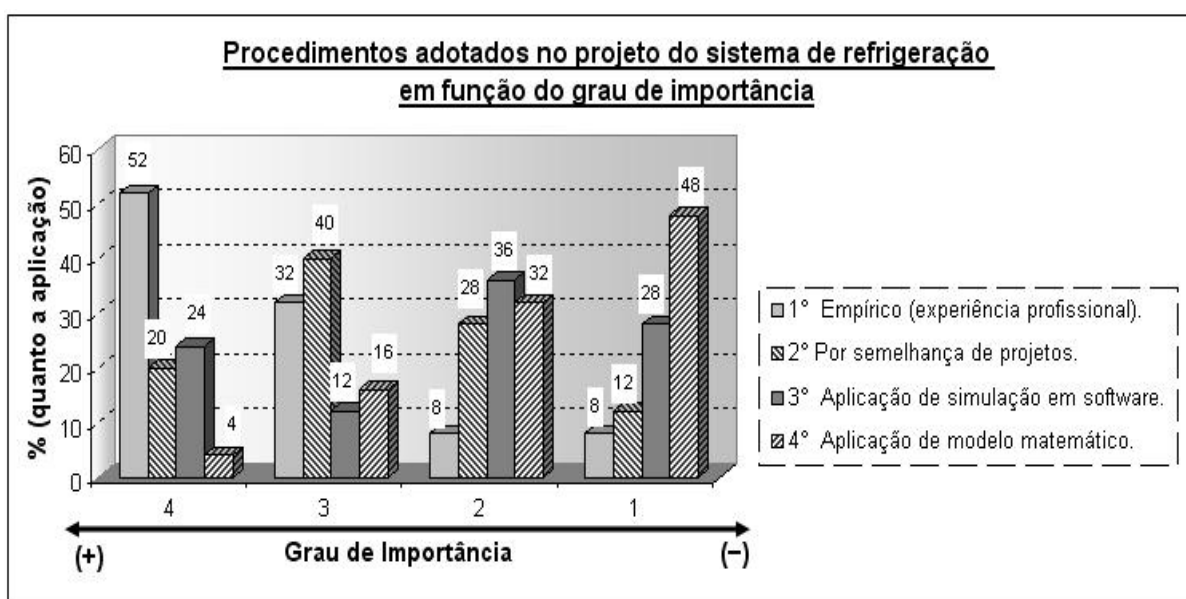


Figura A.10 – Critérios adotados no projeto do sistema de refrigeração em função do grau de importância

Referente aos procedimentos, empírico (desenvolvimento do projeto baseado exclusivamente na experiência profissional), e semelhança de projetos, (quando se compara a atividade projeto a ser desenvolvido com projetos existentes). Verifica que esses procedimentos não se apresentam muito diferentes, pois, dependem unicamente da análise crítica do profissional envolvido com o projeto. Tais procedimentos não são aceitos, por Fiod Neto (1993), pois, é necessário se ter asseguradas maiores possibilidades de sucesso na atividade de projetar um molde de injeção, e não somente dependente da experiência de profissionais, projetos similares ou de ensaios através de tentativas com acertos e erros (*try-out*).

No caso da adoção de um procedimento empregando-se a simulação em software adequado, ainda é pouco aplicada no processo, seja em função dos custos elevados ou da falta de habilidade e conhecimento para o emprego do software, quanto à qualidade das informações obtidas. Mesmo assim, apresenta um crescimento nos últimos anos, fato

atribuído à necessidade de projetos confiáveis para o atendimento das exigências impostas pelo mercado, seja esta, quando há solicitação do cliente ou mesmo quando o molde possui alto valor agregado e condições difíceis de serem determinadas pela experiência dos projetistas, semelhança de projetos os através de cálculos.

A opção menos empregada, necessariamente não menos importante, é o processo envolvendo cálculos, para determinar as dimensões e a efetividade do sistema de refrigeração. A pouca aplicação esta relacionada ao alto grau de dificuldade na determinação das características envolvidas em todo o processo, principalmente quando o perfil da peça a injetar possui forma complexa.

Outra pergunta elaborada foi à décima primeira, nesta buscou-se identificar qual dos procedimentos sugeridos, é o mais adotado para determinar o dimensional do sistema de refrigeração, em função das características inerentes ao processo de troca de calor.

Observando os resultados tabulados na Figura A.11, verifica-se que a grande maioria, 68% dos responsáveis pelas respostas do questionário, determinou o dimensional dos circuitos de refrigeração, baseados na experiência absorvida ao longo dos anos dedicados à atividade de projetos de moldes. Com 24% das indicações, em como segunda opção, verifica-se o uso de software para levantamento de dados, através da simulação. Normalmente o software aplicado durante o processo é o *MoldFlow*. Em terceiro lugar com 8%, empregando-se atividades de projeto por semelhança entre projetos.

Outro dado relevante e verificado foi, que nenhum dos responsáveis pelas respostas do questionário optou em determinar o dimensional dos circuitos de refrigeração do molde pelos modelos matemáticos (cálculos), devido ao alto grau de complexidade dos cálculos influenciando diretamente no tempo de resposta quanto ao projeto do molde como um todo.



Figura A.11 – Procedimento adotado para determinar do dimensional do sistema de refrigeração

Na Figura A.12, encontram-se apresentados os resultados referentes a questão décima segunda, esta explora a determinação dos fatores que levam o projetista a optar pela simulação em software. Verifica-se que todos os participantes apresentaram como fator

determinante, o perfil da peça, em seguida encontra-se o tempo de ciclo de injeção, com 76% e o material do produto, com 60%.

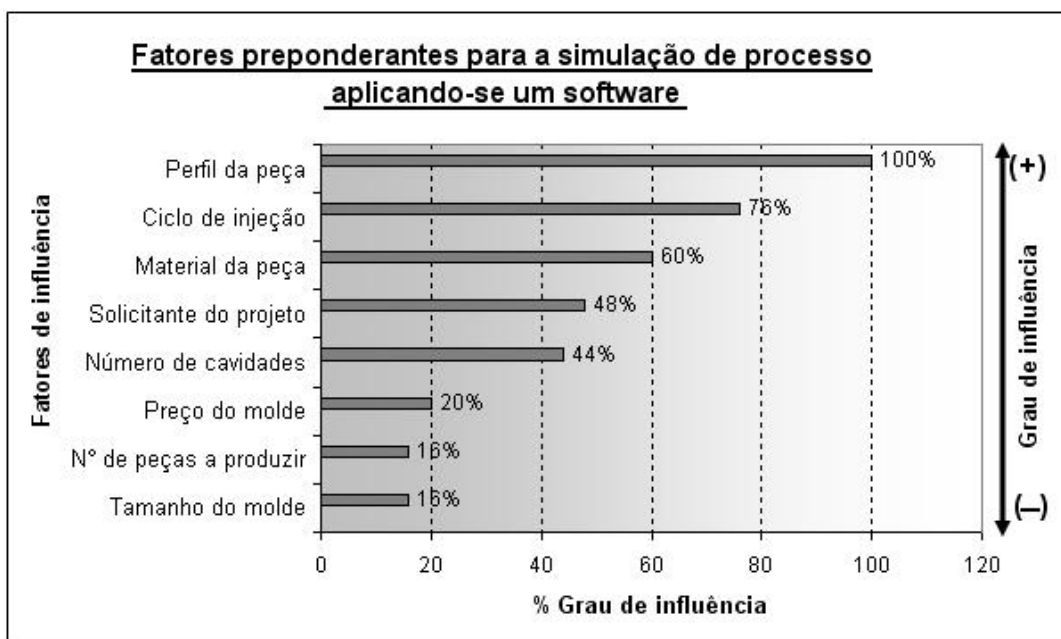


Figura A.12 – Fatores preponderantes para a simulação de processo aplicando-se um software

Na Figura A.13, são apresentados os dados referentes aos parâmetros que interferem no projeto do sistema de refrigeração aplicados ao molde de injeção para polímeros. Verifica-se uma determinada ordem de prioridade adotada pelos projetistas durante o processo de desenvolvimento e projeto do sistema de refrigeração.

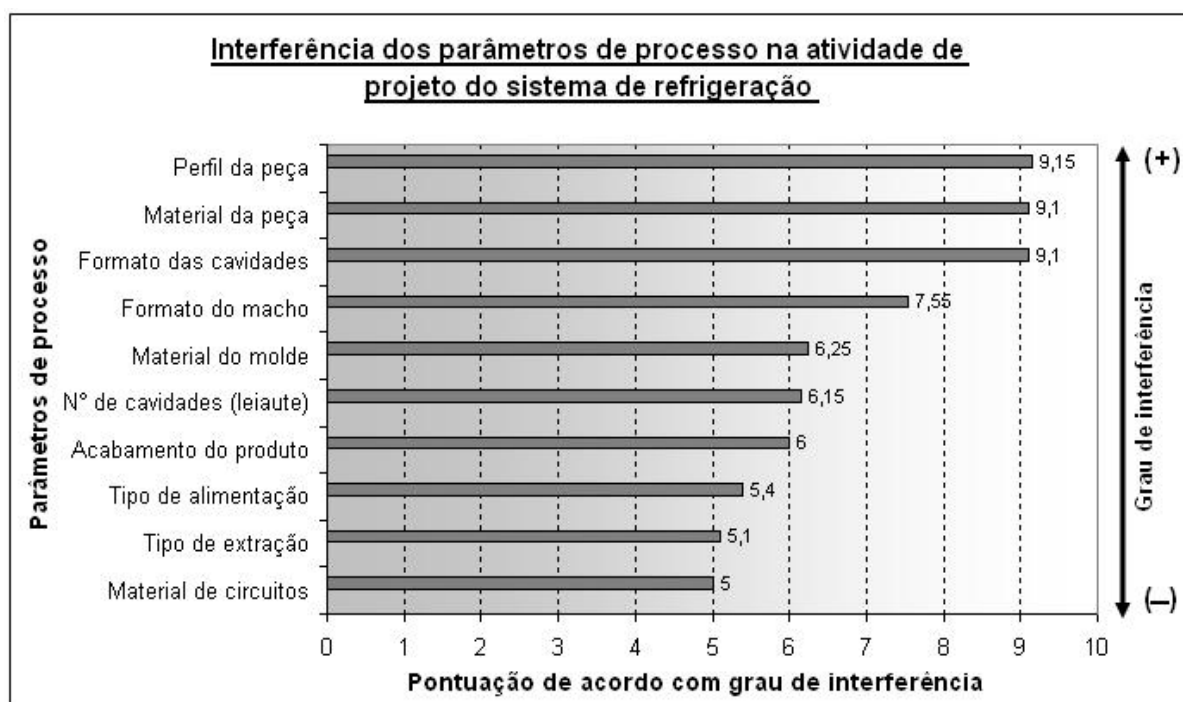


Figura A.13 – Interferência dos parâmetros de processo na atividade de projeto do sistema de refrigeração

A ordem representada foi determinada através dos pontos atribuídos aos parâmetros de processo de acordo com o grau de interferência, sendo que, a nota 1 (um) foi aplicada aos parâmetros de processo com pouca interferência e 10 (dez) para os parâmetros que apresentam muita interferência na atividade de projeto do sistema de refrigeração.

Ainda observando-se a Figura A.13 observa-se, quatro grupos englobando os parâmetros de processo, de acordo com o grau de interferência. O primeiro grupo com pontuação acima de 9,0 (nove), apresentam-se os parâmetros referentes ao perfil da peça, material da peça e formato das cavidades, com o maior grau de interferência durante a atividade de projeto do sistema de refrigeração.

No segundo grupo, com a pontuação de 7,55 (sete vírgula cinqüenta e cinco), encontra-se o parâmetro, formato do macho. Um terceiro grupo com pontuação entre 6,0 (seis) e 7,0 (sete) encontram-se, material do molde, n de cavidades (leiaute) e acabamento do produto. Os parâmetros, que apresentam o grau de importância mais baixo, são de alimentação, tipos de extração e materiais do circuito, com uma pontuação entre 5,0 (cinco) e 5,9 (cinco vírgula nove). Ainda sobre a análise Figura A.13, os parâmetros referentes ao formato da cavidade e dos machos podem ser agrupados, pois esses parâmetros de processos encontram-se interligados entre si.

Em função dos dados apurados junto à pesquisa de campo, observa-se a possibilidade de um mercado em franca ascensão, apresentando a necessidade de produtos com qualidade e num tempo cada vez mais reduzido. O que levou a concluir-se, da necessidade de adoção de uma sistemática, que sirva como fonte norteadora, durante a atividade de projeto dos sistemas de refrigeração aplicados aos moldes para injeção de polímeros.

Apêndice B – Planilha para a Fase do Projeto Informacional “Checklist Informacional”

Esta planilha (*checklist*) é empregada durante o levantamento, verificação e acompanhamento dos dados referentes a fase do projeto informacional. A planilha referenciada na Figura B.1, foi desenvolvida com o objetivo de auxiliar nas atividades de levantamento, armazenamento e verificação das informações pertinentes à etapa do projeto informacional. As informações podem ser recuperadas junto ao projeto informacional do projeto do próprio molde de injeção e apuradas junto a tabelas e catálogos fornecidos pelos fornecedores de materiais.

As informações referentes à etapa do projeto informacional a serem levantadas encontram-se distribuídas em sete campos distintos: dados da empresa executora da etapa; identificação da etapa a ser desenvolvida; responsável pelas informações e data do ocorrido; informações referentes ao produto; informações referentes ao processo produtivo; informações referentes à máquina injetora e informações referentes ao molde de injeção.

Na seqüência, é apresentada a ficha técnica (*checklist*), cujos campos a serem preenchidos encontram-se identificados com letras e números, permitindo identificá-los com maior facilidade durante a explanação de como proceder e quais informações descrever.

Empresa Virtual – projeto de moldes (A)		
Checklist – PROJETO INFORMACIONAL		(B)
Responsável pelas Informações: (C)		Data: (C1)
Informações Referentes ao Produto (D)		
Nome do produto: (D1)		Número do desenho: (D2)
Tipo de material do produto (D3)	Nome comercial	
	Sigla	
Descrição da aplicação do produto: (D4)		
Propriedades do Material do Produto (D5)	Difusividade efetiva média ($\mu\text{m}^2/\text{s}$)	
	Densidade (g/cm^3)	
	Taxa de contração (%)	
	Condutividade térmica “k” ($\text{W}/(\text{m}.\text{K})$)	
	Calor latente (Kcal/kg)	
	Temperatura de desmoldagem ($^{\circ}\text{C}$)	
Características do Produto (D6)	Volume (mm^3)	
	Espessura de parede (mm)	
	Peso (gr)	
Geometria do Produto (D7)	Plano	
	Reentrâncias profundas	
	Complexos	

Figura B.1 – Planilha de levantamento, armazenamento e verificação de informações – Projeto Informacional (Continua)

Informações Referentes ao Processo (E)				
Processo produtivo (E1)	Ciclo exequível (s)			
	Durabilidade exequível (n° de ciclos)			
	Temperatura do molde (°C)			
Informações Referentes à máquina injetora (F)				
Nomenclatura/Fabricante: (F1)				
Especificações da máquina (F2)	Possui sistema de controle de temperatura		() Sim () Não	
	Número de entradas para refrigeração			
	Número de saídas para refrigeração			
Informações Referentes ao Molde (G)				
Número do desenho do molde	(G1)			
Tipificação do molde de acordo com a Norma DIN 16750 (G2)	Duas placas			
	Três placas			
	Sanduíche			
	Com partes móveis (Tipo gavetas)			
	Com canal a quente			
Leiaute e números de cavidades (G3)		Tipo de leiaute	Número	
	Série			
	Circular			
	Simétrica			
	Mista			
Tipo de alimentação (G4)	Direta (canal frio)			
	Indireta (canal frio)			
	Canal isolado (frio)			
	Canal isolado (quente)			
	Câmara quente			
Tipo de extração propostas (G5)	Placa impulsora	Extrator cilíndrico		
		Extrator em lâminas		
		Extrator camisa		
		Placa extratora		
		Anel extrator		
		Ação forçada		
		Ação acelerada ou retardada		
	Núcleo rotativo			
	Ar comprimido			
	Componentes móveis ou gavetas	Ação por guia ou cunha		
		Ação por mola		
		Ação por hidráulico		
	Componentes flexíveis	Extrator mola		
		Extrator bucha expansiva		
		Extrator pinça		

Figura B.1 – Planilha de levantamento, armazenamento e verificação de informações – Projeto Informacional (Continuação)

Antes do início do preenchimento do *checklist*, apresenta-se um campo destinado à identificação da empresa responsável pela etapa do projeto informacional **(A)**. Nesse campo propõe-se a inserção da logomarca, nome, endereço e telefone da empresa prestadora de serviço. Na sequência, identifica-se a etapa a ser desenvolvida **(B)**, nesse caso, a do projeto

informacional. Em seguida, inicia-se o preenchimento do *checklist* propriamente dito, com a identificação do responsável pelo levantamento das informações **(C)** e a data de realização **(C1)**.

Na seqüência encontram-se os campos disponíveis para o preenchimento das:

♣ **Informações Referentes ao produto (D)**

- ✓ **D1** – Nome do produto - comercial ou fantasia
- ✓ **D2** – Número do desenho – registro da identificação do produto a ser desenvolvido o molde conseqüentemente o sistema de refrigeração.
- ✓ **D3** – Identificação do material empregado na injeção do produto - O nome comercial e a sigla de identificação.
- ✓ **D4** – Breve descrição da aplicação do produto, considerando-se, por exemplo: o local de exposição quanto a: intempéries; isolante térmico; recipientes; temperatura em que se encontra exposto; montagem; entre outras informações pertinentes que possam colaborar no projeto do molde.

OBS: As informações dos campos D1, D2, D3 e D4 são adquiridas junto ao solicitante do projeto ou do próprio projeto informacional do molde de injeção. Ainda quanto ao item D3, identificação do material, esta pode ser obtida junto a tabelas ofertadas pelos fornecedores de materiais poliméricos.

✓ **D5** – Refere-se às propriedades do material do produto polimérico, que possibilitam o dimensionamento do sistema de refrigeração e verificação da sua eficiência, esta pode ser obtida junto a tabelas ofertadas pelos fornecedores de materiais poliméricos e Normas Técnicas. Fazem parte desse contexto:

- A difusividade efetiva média ($\mu\text{m}^2/\text{s}$);
- A densidade (g/cm^3), indica o grau de uniformidade de um produto; (Norma ASTM–D- 1505 ou DIN 53479)
- Taxa de contração (%);
- A condutividade térmica "k" ($\text{W}/(\text{m.K})$) do material no estado fundido, é a quantidade de calor conduzida por unidade de tempo, através de um volume unitário, quando a temperatura sofre a variação de um grau. (Norma ASTM –C-177);
- O calor latente (Kcal/kg);
- A Temperatura de desmoldagem ($^{\circ}\text{C}$).
- ✓ **D6** – Refere-se às características do produto, entre elas encontra-se:
 - O volume do material em (mm^3);
 - Espessura de parede em (mm);
 - O peso em (gr)

As informações a serem preenchidas no campo D6 são provenientes das informações do solicitante do projeto informacional do molde, quando de posse do desenho. O desenho pode estar em cópia física ou de cópia eletrônica (desenho em 3D);

✓ **D7** – Refere-se à geometria do Produto, para tanto, dividiu-se em quatro perfis distintos, perfis planos, cilíndricos/planos, com reentrâncias profundas e os de perfis complexos, onde foi observado, o grau de dificuldade e complexidade de se dispor o sistema de refrigeração.

- Os planos, para produtos que apresentam perfis cilíndricos, retangulares ou mesmo misto, com ou sem reentrâncias pequenas, considerando-se uma espessura total do produto até 15 mm. Como exemplo, podem ser citados os pratos, formas de cubos de gelo, talheres de plásticos, entre outros;

- Os de Reentrâncias Profundas, nesse grupo encontram-se as peças que apresentam grandes profundidades na geometria, acima dos 15 mm, como exemplo pode-se citar, os copos, baldes, bacias embalagens e banheiras.

- Os produtos considerados de perfil complexos, aqueles que apresentam uma estrutura geométrica complexa, (nervuras, encaixes, grandes comprimentos, principalmente as peças de engenharia) fato que normalmente dificulta a refrigeração pelos processos convencionais. Como exemplo, podem ser citados os painéis de carro, retrovisores externos. Essa definição é realizada pelo próprio especialista de projeto. De acordo com sua análise, a precisão na definição contribui na determinação de qual arquitetura é a mais indicada;

♣ **Informações do processo produtivo (E)**

✓ **E1** – No processo produtivo é necessário determinar as informações do ciclo e da durabilidade exeqüíveis, assim como da temperatura do molde:

- O ciclo exeqüível é definido normalmente pelo cliente, seja quando definiu o número de peças, ou quando fornece o tempo, que deseja para o ciclo produtivo em sua máquina injetora;

- A durabilidade exeqüível (nº de ciclos) é determinada em função do tempo em que o produto continue no mercado, ou seja, o tempo que o molde necessita estar em produção, (respeitando as normas referentes ao consumidor). O ciclo exeqüível e sua durabilidade, podem determinar o quanto será investido no projeto do molde, para que este, atenda às necessidades do cliente;

- A temperatura do molde, informação de vital importância na verificação da eficiência do sistema de refrigeração, esta garantirá a estabilidade e o equilíbrio da temperatura no molde, necessária ao ciclo de injeção adequado. Pode ser obtida junto a tabelas ofertadas pelos fornecedores de materiais poliméricos e Normas Técnicas.

♣ **Informações referentes à máquina injetora (F)**

✓ **F1** – as especificações da máquina injetora, necessárias para o projeto do sistema de refrigeração, são fornecidas normalmente pelo próprio cliente:

- A nomenclatura/fabricante, nome, tipo e fabricante possibilitam ao especialista dimensionar o sistema de refrigeração, de acordo com a máquina em que será produzido o produto, ainda possibilita verificar se a máquina atende ao tempo de ciclo solicitado pelo cliente.

✓ **F2** – A máquina possui algum tipo de sistema de refrigeração que alimenta o sistema de refrigeração do molde, sim ou não. No caso da resposta ser sim, se preenche os outros dois quadros, que se referem ao número de entradas e saídas para fluido refrigerante;;

♣ **Informações Referentes ao Molde de injeção (G)**

✓ **G1** – Número do desenho do molde: dado que contribuirá na busca de informações no projeto informacional do próprio molde, além do que, se houver necessidade de alterações ou mesmo melhorias, tornando-se fácil o controle da documentação para arquivamento;

✓ **G2** – Refere-se à tipificação do molde: determinada de acordo com a Norma DIN 16750, esta norma classifica os moldes de acordo com os sistemas aplicados, sistemas de extração, sistemas de alimentação. Para tanto, o especialista assinala com “X” a tipificação mais adequada ao projeto do molde.

✓ **G3** – Leiaute e número de cavidades: o especialista assinala com “X” a alternativa que já fora determinada durante o projeto conceitual do molde de injeção. Na sequência anota o número de cavidades. Determina-se o número de cavidades em função da solicitação do cliente, que indiretamente, envolve as dimensões da máquina injetora, o tempo de ciclo desejável e o número de peças a produzir. Blass (1988), Menges (1993), Harada (2004) entre outros pesquisadores detalham este conteúdo.

✓ **G4** – Tipo de alimentação: o especialista assinala com “X” a alternativa que já fora determinada durante o projeto conceitual do molde de injeção. Determina-se o tipo de alimentação em função do material a ser injetado, do perfil da peça ser injetada, da produtividade que se deseja. Brito et. al. (2004), detalha no volume 6 do manual do projetista para Moldes de Injeção de Plásticos.

✓ **G5** – Tipo de extração: é uma atividade difícil de ser determinada, pois depende de fatores como: por onde extrair o produto; quantos pontos de extração são necessários; marcas de extração no produto; os possíveis pontos de extração interferem na escolha e localização do sistema de refrigeração. Considerando-se que um ou mais tipos de extração podem ser empregados, com a finalidade de extrair o produto do molde, respeitando-se o espaço necessário para a disposição do sistema de refrigeração, o especialista assinala com “X” a, ou as, alternativas escolhidas. Provenza (1993), Blass (1988), Menges (1993), Sors (1995), Rees (1995), Pontes et al (2004); Harada (2004) e Manrich (2005), detalham o conteúdo.

Apêndice C – Planilha para a Fase do Projeto Conceitual “*Checklist Conceitual*”

Esta planilha (*checklist*) é empregada durante o levantamento, verificação e acompanhamento dos dados referentes a fase do projeto conceitual. A planilha referenciada na Figura C.1 foi desenvolvida com o objetivo de auxiliar nas atividades de levantamento, armazenamento e verificação das informações pertinentes à fase do projeto conceitual e podem ser: recuperadas junto ao projeto informacional do projeto do próprio molde de injeção e apuradas junto a tabelas e catálogos fornecidos pelos fornecedores de materiais.

As informações referentes à etapa do projeto conceitual encontram-se distribuídas em 5 campos distintos: dados da empresa executora da etapa, identificação da etapa a ser desenvolvida; responsável pelas informações e data do ocorrido; informações referentes ao sistema de refrigeração e referentes ao molde de injeção.

Empresa Virtual – projeto de moldes (A)		
Checklist - PROJETO CONCEITUAL (B)		
Responsável pelas Informações: (C)		Data: (C1)
Informações pertinentes ao sistema de refrigeração (D)		
Características do material do circuito (D1)		Tipo de material
		Condutividade térmica "k" (W/(m.K))
Meio aplicado no controle da temperatura (D2)		Água
		água com anti-congelante
		água pressurizada
		Metanol + CO ₂
		óleo
		resistência elétrica
		Arquitetura/Circuito
Sistemas empregados na refrigeração (D3)	Furações para fluido ou linha de fluídos	em "U"
		"Z" "Zig-Zag"
		Retangulares
		Circular
		Furação inclinada
		Furação direta no postigo (gaveta)
	Canal usinado	Placas de refrigeração inteiriças
		Uso de tubos de cobre
	Furação e canal usinado	Circular
		Espiral
Helicoidal A		
Helicoidal B		

Figura C.1 – Planilha de levantamento, armazenamento e verificação de informações – Projeto Conceitual (Continua)

Sistemas empregados na refrigeração (D3)	Bubbler	Em cascata no macho	
		Em cascata na placa cavidade	
	Baffles	Simples ou alinhado	
		Adaptado ao contorno do produto	
	Barras defletoras	Pino térmico	
		Ligas de alta condutividade térmica	
	Tubos transferidores de calor	Tubos transferidores de calor	
	Refrigeração a gás	Elemento metálico poroso (Aço Toolvac)	
Informações Referentes ao Molde (E)			
Características do Material do molde (E1)		Tipo de material aplicado no molde	
		Condutividade térmica "k" (W/(m.K))	

Figura C1 – Planilha de levantamento, armazenamento e verificação de informações – Projeto Conceitual (Continuação)

Antes do início do preenchimento do *checklist*, apresenta-se um campo destinado à identificação da empresa responsável pela etapa do projeto informacional **(A)**. Nesse campo deve-se inserir: logomarca, nome, endereço e telefone. Na sequência, identifica-se a etapa a ser desenvolvida **(B)**, nesse caso, a do projeto informacional, em seguida, inicia-se o preenchimento do *checklist* propriamente dito, como a identificação do responsável pelo levantamento das informações **(C)** e a data de realização do **(C1)**, semelhante ao apresentado no projeto informacional.

Na sequência encontram-se os campos disponíveis para o preenchimento das:

✦ Informações Referentes ao Sistema de Refrigeração (D)

- ✓ **D1** – Características do material do circuito: incluem-se nessas características o tipo de material e a condutividade térmica do mesmo, onde se tem:
 - O tipo de material resgatado do projeto informacional do sistema de refrigeração, em função da escolha do sistema de refrigeração do molde de injeção ou mesmo definido no projeto informacional do próprio molde de injeção.
 - A Condutividade térmica "k" (W/(m.K)), que pode ser determinada de acordo com a tabela e catálogos oferecidos pelo fabricantes do material;
- ✓ **D2** – Meios aplicados na refrigeração do molde: esses meios, em função do material do polímero que se deseja injetar no molde de injeção, podem ser encontrados nos estados: líquido como a água e óleo; no gasoso ou mesmo sólido quando aplicadas resistências elétricas para o aquecimento do molde. (detalhado no capítulo 2 item 2.3.1). Nessa situação a alternativa é registrada com um "X";
- ✓ **D3** – Refere-se ao sistema de refrigeração: são identificados e escolhidos os sistemas que atendem à necessidade do projeto do molde, em função da geometria do produto, do tempo de ciclo solicitado e da máquina injetora disponível. A identificação e escolha podem ser realizadas analisando-se o capítulo 2 no item 2.4.2 e assim registra-se a escolha ou escolhas com um "X".

♣ **Informações Referentes ao Molde (E)**

- ✓ **E1** – Características do material do molde: incluem-se o tipo de material e a condutividade térmica, onde se tem:
 - O tipo de material resgatado do projeto informacional do sistema de refrigeração, em função da escolha do sistema de refrigeração do molde de injeção ou mesmo definido no projeto informacional do próprio molde de injeção.
 - A Condutividade térmica "k" (W/(m.K), pode ser determinada de acordo com a tabela e catálogos oferecidos pelo fabricantes do material.